

ALCEU LUIZ ASSMANN

*EFEITO DA APLICAÇÃO DE Fe, Mn E Zn NO CRESCIMENTO DO MILHO
E NOS TEORES DE Fe, Mn, Zn E Cu DO SOLO E DA PLANTA.*

Dissertação apresentada ao
Curso de Pós-Graduação em
Agronomia, Área de Concentração
Ciência do Solo do Setor de
Ciências Agrárias da
Universidade Federal do Paraná,
como requisito parcial para a
obtenção do grau de Mestre.

CURITIBA
1993

ALCEU LUIZ ASSMANN

EFEITO DA APLICAÇÃO DE Fe, Mn E Zn NO CRESCIMENTO DO MILHO
E NOS TEORES DE Fe, Mn, Zn E Cu DO SOLO E DA PLANTA.

*Orientadora: Prof. Dr. Beatriz Monte Serrat Prevedello.
Co-orientador: Prof. M.Sc. Antonio Carlos Vargas Motta.*

*Dissertação apresentada ao
Curso de Pós-Graduação em
Agronomia, Area de Concentração
Ciência do Solo do Setor de
Ciências Agrárias da
Universidade Federal do Paraná,
como requisito parcial para a
obtenção do grau de Mestre.*

*CURITIBA
1993*



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA-ÁREA DE CONCENTRAÇÃO
"CIÊNCIA DO SOLO"


P A R E C E R

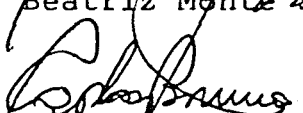
Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato ALCEU LUIZ ASSMANN, com o título:

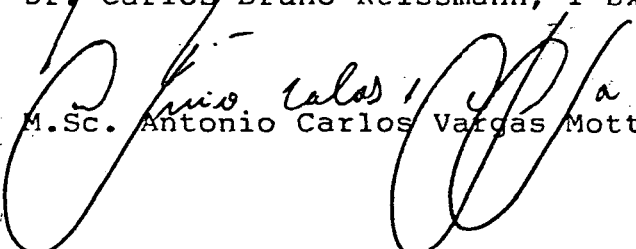
"EFEITO DA APLICAÇÃO DE Fe, Mn e Zn NO CRESCIMENTO DO MILHO E NOS TEORES DE Fe, Mn, Zn e Cu DO SOLO E DA PLANTA".x.x.x.x.x.x.x.x.x.

para obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de Parecer pela "APROVAÇÃO" da Dissertação, com o conceito "B" completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo".

Secretaria do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", em Curitiba, 18 de junho de 1993.


Profª Drª Beatriz Monte Serrat Prevedello, Presidente.


Prof. Dr. Carlos Bruno Reissmann, I Examinador.


Prof. M.Sc. Antonio Carlos Vargas Motta, II Examinador.

*A Eng. Agrônoma
Tangriani,
minha esposa,
e para Lucas,
meu filho.*

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Professora Doutora Beatriz Monte Serrat Prevedello, orientadora pela amizade, dedicação e direcionamento.

Ao Professor Mestre Antonio Carlos Vargas Motta, pela amizade, dedicação e co-orientação.

Ao funcionário Aldair Marty Munhoz pela colaboração na realização das análises.

Aos funcionários e ao Professor Mestre Luis Antonio Correia Lucchesi, responsável pelo Laboratório de Fertilidade do Solo da Universidade Federal do Paraná na execução das análises de solo.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração e Ciência do Solo, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná pelos ensinamentos ministrados, convívios e amizades.

Aos colegas de Pós-Graduação pelo apoio dado durante este período.

A Tangriani, minha esposa pela confiança, compreensão e colaboração para poder chegar ao término deste trabalho.

A todos meus familiares, pelo apoio, compreensão e confiança depositada.

A todos meus amigos que de uma forma direta ou indireta, auxiliaram na execução dessa obra.

BIOGRAFIA

Alceu Luiz Assmann, filho de Arquimino Assmann e Vitória Assmann, nasceu em Gaurama - RS, aos vinte e sete dias do mes de junho de 1956.

Em dezembro de 1982, colou grau de Engenheiro Agrônomo na Universidade Federal de Pelotas - RS.

Entre julho de 1983 a março de 1989, atuou como Engenheiro Agrônomo e responsável técnico pela produção de sementes da Cooperativa Agrícola Consolata LTDA - COPACOL.

Em março de 1989 iniciou o curso de mestrado em agronomia, área de concentração em Ciência do Solo, na Universidade Federal do Paraná.

Atualmente trabalha no Instituto Agronômico do Paraná como administrador da estação experimental de Pato Branco, apartir de abril de 1992.

SUMARIO

1	INTRODUÇÃO	01
2	REVISÃO DE LITERATURA	03
2.1	IMPORTANCIA ECONOMICA DA CULTURA DO MILHO	03
2.2	RESPOSTA DAS CULTURAS ANUAIS A APLICAÇÃO DE ZINCO, FERRO E MANGANES NO BRASIL	05
2.3	DISPONIBILIDADE PARA AS PLANTAS DE ZINCO, MANGANES E FERRO NO SOLO E OS FATORES QUE A INFLUENCIAM	07
2.3.1	Zinco	08
2.3.2	Manganês	09
2.3.3	Ferro	10
2.4	NIVEIS CRITICOS NO SOLO	12
2.5	MÉTODOS DE EXTRAÇÃO	14
2.6	RECUPERAÇÃO DE FERRO, ZINCO E MANGANES APLICADO NO SOLO	16
2.7	ZINCO, MANGANES E FERRO NA PLANTA	17
2.7.1	Absorção, transporte e redistribuição	17
2.7.2	Funções na planta	18
2.7.3	Sintomas de deficiência e toxicidade	20
2.7.4	Teores de zinco, manganês, ferro e cobre na planta	22
2.8	INTERAÇÃO NO SOLO E NA PLANTA	24
2.8.1	Interação Zn x Fe	25
2.8.2	Interação Zn x Mn	30
2.8.3	Outras interações	32
3	MATERIAL E MÉTODOS	34
3.1	INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO	35
3.2	ANALISES QUIMICAS	38

3.2.1	Análise química do solo	38
3.2.2.	Análise química da planta	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1	DISPONIBILIDADE AS PLANTAS DOS MICRONUTRIENTES CATIONICOS NO SOLO NO EXPERIMENTO Zn X Fe	40
4.1.1	Zinco	40
4.1.2	Ferro	44
4.1.3	Manganês	46
4.2.5	Cobre	47
4.2	DISPONIBILIDADE AS PLANTAS DOS MICRONUTRIENTES CATIONICOS DO SOLO NO EXPERIMENTO Zn x Mn	49
4.2.1	Zinco	49
4.2.2	Ferro	52
4.2.3	Manganês	52
4.2.4	Cobre	56
4.3	RESPOSTA DA PLANTA EM RELAÇÃO AOS TRATAMENTOS APLICADOS NO EXPERIMENTO Zn X Fe	58
4.3.1	Produção de massa seca, altura, comprimento e diâmetro do colmo da planta	58
4.3.2	Teor de zinco na planta	60
4.3.3	Teor de ferro na planta	63
4.3.4	Teor de manganês na planta	64
4.3.5	Teor de cobre na planta	65
4.4	RESPOSTA DA PLANTA EM RELAÇÃO AOS TRATAMENTOS APLICADOS NO EXPERIMENTO Zn X Mn	66
4.4.1	Produção de massa seca, altura, comprimento e diâmetro do colmo da planta	66
4.4.2	Teor de zinco na planta	69

4.4.3	Teor de ferro na planta	71
4.4.4	Teor de manganês na planta	72
4.4.5	Teor de cobre na planta	74
5	CONCLUSÃO	75
6	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	76
7	ANEXOS	83

LISTA DE FIGURAS

1	Correlação entre os extratores HCl 0,1 N e Na ₂ -EDTA 0,005 M, na extração do zinco disponível no solo do experimento Zn x Fe	43
2	Comportamento entre os extratores HCl 0,1 N e Na ₂ -EDTA 0,005 M, na extração do ferro disponível no solo no experimento Zn x Fe	46
3	Comportamento dos extratores HCl 0,1 N e Na ₂ -EDTA 0,005 M na extração do cobre disponível no solo no experimento Zn x Fe	48
4	Correlação entre os extratores HCl 0,1 N e Na ₂ -EDTA 0,005 M na extração do zinco disponível no solo do experimento Zn x Mn	51
5	Correlação entre os extratores HCl 0,1 N e Na ₂ -EDTA 0,005 M, na extração do manganês disponível no solo do experimento Zn x Mn	55
6	Comportamento entre os extratores HCl 0,1 N e Na ₂ -EDTA 0,005 M, na extração do cobre disponível no solo do experimento Zn x Mn	57
7	Correlação entre o zinco disponível em HCl 0,1 N e o teor de zinco absorvido pela planta no experimento Zn x Fe	62
8	Correlação entre zinco disponível em HCl 0,1 N e o teor de zinco absorvido pela planta no experimento Zn x Mn	70
9	Correlação entre o manganês disponível em HCl 0,1 N e o teor de manganês absorvido pela planta no experimento Zn x Mn	73

LISTA DE TABELAS

01	Características químicas do solo utilizado no experimento em casa de vegetação	34
02	Adubação básica para plantio	36
03	Teores de zinco e manganês em ppm no solo para a interação níveis de zinco x níveis de ferro, após a colheita	42
04	Teor médio de ferro em ppm, para o tratamento de ferro no experimento Zn x Fe, após a colheita média de quatro repetições	45
05	Teor médio de cobre em ppm, no solo no tratamento Zn x Fe após a colheita, média de quatro repetições	48
06	Teor médio de zinco em ppm no solo, para a o tratamento de zinco utilizando um extrator no experimento Zn x Mn, após a colheita, média de quatro repetições.....	50
07	Teores de zinco e ferro no solo, para a interação de níveis de zinco x níveis de manganês, após a colheita	51
08	Teores de manganês e cobre em ppm no solo, para a interação do nível de zinco x nível de manganês, após a colheita	53
09	Teor de manganês no solo para o tratamento de manganês utilizando um extrator no experimento zinco x manganês, após o cultivo, média de quatro repetições	54
10	Efeito dos níveis de zinco na massa seca, altura, comprimento e diâmetro do colmo da planta no experimento zinco x ferro, média de quatro repetições.....	59
11	Efeito dos níveis de ferro sobre o diâmetro do colmo da planta para o experimento zinco x ferro, média de quatro repetições	60
12	Efeitos dos níveis de zinco sobre zinco, ferro e cobre na planta para o experimento zinco x ferro, média de quatro repetições	61
13	Efeito dos níveis de ferro sobre os teores de zinco e cobre na planta para o experimento zinco x ferro, média de quatro repetições	63

- 14 Efeito dos níveis de zinco sobre altura, massa seca e comprimento na planta para o experimento zinco x manganês, média de quatro repetições 68
- 15 Efeito dos níveis de manganês sobre altura, comprimento e diâmetro do colmo da planta para o experimento zinco x manganês, média de quatro repetições 68
- 16 Efeito dos níveis de zinco, sobre zinco, ferro e cobre na planta para o experimento zinco x manganês, média de quatro repetições 70
- 17 Efeito dos níveis de manganês sobre manganês na planta para o experimento Zn x Mn, média de quatro repetições..72

RESUMO

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação do Departamento de Solos da Universidade Federal do Paraná para verificar o efeito da interação entre Zn X Fe e Zn X Mn em LATOSSOLO VERMELHO ESCURO de textura argilosa, usando como planta teste a cultura do milho (*Zea mays*). Antes do plantio foi feita adubação básica com 150 ppm de N, 150 ppm de P, 150 ppm de K e 42 ppm de S; nas formas de uréia, superfosfato simples, cloreto de potássio e sulfato de sódio anídrico respectivamente. Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições, com os tratamentos arranjados fatorialmente.

Os tratamentos foram a combinação de 4 níveis de zinco e 3 níveis de ferro assim constituídos: Zn (0, 3, 9 e 27 ppm); Fe (0, 5 e 50 ppm) no experimento 1 e no experimento 2 a interação Zn X Mn com 4 níveis de zinco e 3 níveis de manganês assim constituídos: Zn (0, 3; 9 e 27 pp,m); Mn (0, 5 e 50 ppm), tendo as seguintes fontes: Zinco, Sulfato de zinco heptahidratado; Manganês, Sulfato manganoso monohidratado; e Ferro, Sulfato ferroso heptahidratado, sendo que os experimentos foram independentes. Aplicou-se N como adubação de base e cobertura aos 15, 30 e 45 dias após a emergência, utilizando 50 ppm em cada aplicação.

Foi avaliado o efeito da aplicação de Zn e Fe e de Zn e Mn sobre o teor desses nutrientes extraídos do solo por dois extratores, sobre o desenvolvimento das plantas e sobre os teores de Zn, Fe, Mn e Cu no tecido vegetal. Observou-se que os níveis de recuperação variaram de 63 a 73% para o zinco; 10 a 40% para o ferro e de 75 a 78% para o manganês, extraídos com o HCl 0,1 N. Os dois extratores utilizados apresentaram valores semelhantes para o zinco, manganês e cobre, com pequenas variações a favor do HCl 0,1 N. O extrator complexante extraiu 42% mais ferro que o extrator ácido. Os dois extratores detectaram os níveis crescentes dos três elementos aplicados. A produção da massa seca do milho só apresentou diferença estatística entre a omissão de zinco e a dose de 27 ppm desse elemento; e entre a omissão de manganês e as duas doses desse elemento. Somente para o ferro que a concentração desse elemento na planta não cresceu com o aumento de sua aplicação. As doses crescentes de zinco aplicadas ao solo interferiram negativamente nos teores de ferro e de cobre na planta, e as doses de ferro nos teores de zinco do tecido vegetal.

ABSTRACT

Two greenhouse experiments were conducted to investigate the effects of Zn x Fe and Zn x Mn interaction on corn, grown in a clayly dark-res latossol. To wich 150 ppm of N (as urea), 150 ppm of P (as superphosphate), 150 ppm of K (as potassium chloride) and 42 ppm of S (as anhydrous sodium sulphate) had been added as basal fertilization before planting.

A complete randomized design with the treatments arranged factorially and four replications was used in each case. In the first experiment the treatments consisted of four levels of Zn (0, 3, 9 and 27) combined with tree levels of Fe (0,5 and 50 ppm). In the second experiment the same levels of Zn were combined with tree levels of Mn (0, 5 and 50 ppm). The sources of the elements were heptahydrated zinc sulphate, monohydrated manganous sulphate and heptahydrated ferrous sulphate. Additional N was applied at 15, 30 and 45 days after corn emergence.

The recovery levels raising from 63 to 73% of HCl-extractable Zn, from 10 to 40 % of HCl-extractable Fe and from 75 to 78% of HCl-extractable Mn. Both extractores showed similar values for Zn, Mn and Cu, however HCl 0,1 N extracted a little more than Na₂-EDTA. The amounts of Na₂-EDTA-extractable Fe was 42% superior then amounts HCl-extractable Fe. Complexant and acid extractores was efficient to observed the crescent levels of three elements added to soil. The difference in corn dry weight, was significative only between the lack of Zn and the treatment with 27 ppm of this element; and between the lack of Mn and the other two levels of Mn. Only the Fe concentration in corn didn't increase with the application of element in soil. Crescents Zn levels affected negatively the concentration of Fe and Cu in corn plant, and levels of Fe decresced the concentration of Zn in the plant.

INTRODUÇÃO

Entre os elementos que as plantas absorvem do solo, está o grupo dos micronutrientes, assim chamados pela sua pequena exigência pelas várias culturas. Na o obstante a pequena necessidade dos micronutrientes, suas deficiências podem causar sérias restrições à produção em grandes áreas, como é o caso do zinco e boro em nossos solos.

Uma nutrição adequada de micronutrientes depende de uma série de fatores, entre os quais: a velocidade de absorção, distribuição e transporte de nutrientes para os sítios funcionais e a mobilidade do nutriente dentro da planta e no solo, dependendo dos fatores quantidade, intensidade, velocidade de equilíbrio e capacidade do mesmo. Há de se prever também interações entre os micronutrientes, bem como, desses com alguns macronutrientes, tanto no solo, como na planta. Considerando que elas podem modificar a nutrição vegetal, essas interações precisam ser entendidas e consideradas, afim de se manter um suprimento adequado de nutrientes (BATAGLIA, 1988; MALAVOLTA, 1980).

Entre as interações a que mais tem sido estudada é a relação P x Zn, apesar de ter sido constatado interações entre P x Mo, Zn x Mg, Fe x Mo, de caráter sinérgico, e P x Fe, P x Cu, Fe x Mn, Mo x S, B x Ca, Zn x Fe, Fe x Cu, Zn x Cu e Cu x Mo de caráter antagônico em diversos sistemas, (OLSEN, 1983). Nos solos brasileiros as interações entre os micronutrientes tem

sido pouco estudadas, apesar da constatação de casos onde o excesso de alguns elementos provoca a deficiência de outros, com a interferência na produção e desenvolvimento de várias culturas. Entre as interações mais prováveis em solos ácidos estão as que envolvem Ferro, Manganês e Zinco, isto porque nesses solos os dois primeiros elementos geralmente são encontrados em níveis elevados, quando comparados com os níveis de Zinco. É possível que muitos problemas nutricionais na agricultura brasileira fossem melhor entendidos e corrigidos, se houvesse maior compreensão na interpretação dos experimentos visando definir o efeito dessas interações na produtividade, (BATAGLIA, 1988).

Com base nos aspectos abordados o presente trabalho teve os seguintes objetivos:

a) Avaliar o efeito da aplicação de doses crescentes de Zn e Fe e de Zn e Mn, na composição química e no crescimento do milho, cultivado em Latossolo Vermelho Escuro proveniente de Ponta Grossa - PR.

b) Avaliar a disponibilidade de micronutrientes catiônicos, para as plantas do solo anteriormente citado, nas mesmas condições, através de duas metodologias de extração.

2.1

IMPORTANCIA ECONOMICA DA CULTURA DO MILHO.

O milho é uma das culturas mais eficientes na conversão da energia solar em alimentos, ocupando a maior área cultivada do Brasil, com aproximadamente 13 milhões de hectares o que corresponde a uma produção estimada em 28,2 milhões de toneladas. Neste contexto o Paraná participa com 6,3 milhões de toneladas em uma área de 2,3 milhões de hectares, contribuindo com mais de 20% da produção nacional, (SEAB, 1991).

Este cereal constitui o produto responsável pelo maior emprego de mão-de-obra no setor rural brasileiro, sendo também o maior fornecedor de insumos alimentícios para as atividades de criação, principalmente a suinocultura e a avicultura. Representa ainda excelente alternativa de alimento para o consumo humano, podendo substituir em até 30% a farinha de trigo empregada nas indústrias de panificação e massas (IAPAR, 1982).

Para atender as necessidades dos diversos setores que demandam milho e para que o país não tenha que recorrer à importação, é necessário que haja nas regiões em desenvolvimento uma política de incremento da área plantada com a cultura. No caso do Paraná, cuja a fronteira agrícola já se acha praticamente esgotada, existe a necessidade de melhor utilização das tecnologias de cultivo, visando o aumento da produtividade por unidade de área (IAPAR, 1982).

Abordando essencialmente os fatores que restringem a produtividade do milho em si, ressaltam-se na cultura quatro itens principais:

*Apesar do elevado uso de sementes fiscalizadas, nem sempre o agricultor tem adotado cultivares mais adaptadas a sua região;

*É baixa a população de plantas por unidade de área;

*Ocorre atraso na colheita, repercutindo em perdas quantitativas e qualitativas de produção.

*É baixo o uso de fertilizantes ou de alternativas outras que promovam um adequado suprimento nutricional equilibrado a cultura. No Paraná, atualmente está sendo adotado sulfato de zinco na cultura do milho, juntamente com nitrogênio, fósforo e potássio. Esta prática vem sendo usada por algumas cooperativas, que utilizam de 6 a 18 Kg de sulfato de zinco por hectare, isto tem um caráter preventivo, visto que deficiência de zinco não ocorre em todos os solos.

2.2 RESPOSTA DAS CULTURAS ANUAIS A APLICAÇÃO DE ZINCO, FERRO E MANGANES NO BRASIL.

Sabe-se que para o perfeito desenvolvimento e reprodução da cultura do milho, alguns elementos químicos são essenciais, sendo uns exigidos em grandes e outros em pequenas quantidades segundo HODGSON (1963) e MENGEL & KIRKBY (1987).

Segundo MALAVOLTA (1984) e RITCHEY et alii (1986), existem diferenças entre os cultivares, na eficiência de absorção e utilização dos nutrientes já existente no solo ou fornecidos por meio de fertilização.

Para a cultura do milho no Brasil, são frequentes os trabalhos, onde as aplicações de zinco no solo, apresentam aumento na produtividade, não mostrando a mesma resposta para aplicações de ferro e/ou manganês.

Um dos primeiros trabalhos de importância do uso do zinco foi desenvolvido por FREITAS et alii (1958), os quais constataram aumentos de produção na ordem de 214% na cultura do milho com a aplicação de 6 Kg/ha de zinco, em um Latossolo Vermelho Escuro de Anápolis - GO, e de 597% obtido por BRITO et alii (1971) com a aplicação de 20 Kg/ha de sulfato de zinco ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$), trabalhando com a cultura do milho no mesmo tipo de solo, no Distrito Federal.

Através da técnica de diagnose por subtração, ABREU & LOPES (1985), avaliaram o efeito de cada micronutriente na produção da matéria seca do milho, em cinco solos de várzeas de Minas Gerais (Gley Húmico, Gley pouco Húmico, Orgânico de Uberaba, Aluvial e Gley Húmico de Careaqu), em quatro cultivos

sucessivos. Verificaram uma redução na produção de matéria seca do milho, no tratamento que não recebeu Zn, nos 4 primeiros solos; não diminuindo a produção de matéria seca nos tratamentos com omissão do ferro e do manganês.

RITCHEY et alii (1986), trabalhando com Latossolo Vermelho Escuro argiloso, obteve aumentos altamente significativos com a aplicação de 3 Kg/ha de zinco, na ordem de 1804 % e 856 % , mostrando uma grande diferença entre as cultivares na produção do Cargil 111 e Funks, respectivamente. Já para a cultura da soja, NOVAIS et alii (1989), trabalhando em solos sob o cerrado com a aplicação de manganês aumentaram a produção de matéria seca da soja, bem como, desapareceram os sintomas visuais de deficiência causados pelo manganês, e para os tratamentos com zinco e ferro, não obtiveram efeitos significativos sobre a produção de matéria seca. Por outro lado, GALRAO (1990), com um experimento a campo, utilizando como planta teste a soja, em solos de várzea com aplicação de calcário e micronutrientes, obteve resultados apenas com a aplicação de zinco, o qual proporcionou um aumento de produção na ordem de 891 Kg/ha no primeiro cultivo, sendo que o manganês não apresentou efeito sobre a produção. Enquanto que BARBOSA FILHO et alii (1990), trabalhando com a cultura do arroz e milho em casa de vegetação, observou que aplicação crescente de zinco, causou aumento na produção de massa seca e comprimento dos internós além de aumento nos teores de zinco na planta.

2.3 **DISPONIBILIDADE PARA AS PLANTAS DE ZINCO, MANGANÊS E FERRO DO SOLO E OS FATORES QUE A INFLUENCIAM**

Os fatores que influenciam a disponibilidade de zinco, manganês e ferro, bem como as condições de solo e clima mais propensas ao aparecimento de deficiências ou toxidez, são relatados a seguir, reunindo resultados obtidos por vários autores.

Segundo, LINDSAY (1979), a adsorção e a atividade de microorganismos são fatores importantes no controle do teor de micronutrientes na solução do solo, mas a fase mineral é o agente controlador fundamental da quantidade dos elementos na solução

Trabalhos realizados por CAMARGO et alii (1982), mostraram que, de maneira geral, os teores de zinco, manganês e ferro solúveis em DTPA-TEA, de solos do Estado de São Paulo, diminuíram com o aumento do pH pela adição de calcário, e com a incubação por 60 dias na capacidade de campo.

Segundo SHUMAN (1979) em solos da região Sudoeste dos Estados Unidos da América, a distribuição do Zinco e Manganês total, está relacionada em ordem de prioridade ao teor de argila, óxidos de Ferro, areia, silte e matéria orgânica.

De acordo com vários autores (TISDALE & NELSON, 1975; MALAVOLTA, 1981; DENNIS, 1982; MELLO et alii, 1983; LOPES, 1986; BATAGLIA, 1988; DECHEN, 1988 e outros citados junto ao texto a seguir), os principais fatores que influenciam a disponibilidade do Manganês, Zinco e Ferro são:

2.3.1 Zinco:

Quanto a disponibilidade de zinco, LINDSAY (1979); MELLO et alii (1983), citam que os teores de zinco solúveis em HCl 0,1 N, variam de 0,001 a 1 ppm e ainda STEVENSON & ARDAKANI (1972) citam que 75% do zinco na solução do solo está na forma de complexos orgânicos. Já BATAGLIA & VAN RAIJ (1989), trabalhando com 26 solos de São Paulo, obtiveram uma variação de 0,9 a 7,4 ppm de zinco com uma média de 2,4 ppm extraído do solo pelo HCl 0,1 M. Sendo que para o estado do Paraná, MACHADO & PAVAN (1987), trabalhando com Latossolo Vermelho Escuro distrófico obtiveram teores de zinco variando de 0,08 a 0,52 ppm.

Os principais fatores que regulam a disponibilidade do zinco no solo são: pH, adubação, matéria orgânica, condições climáticas, sistematização, tipos de solos e retiradas pelas culturas. A maior disponibilidade no que se refere ao pH em água, está na faixa de 5,0 a 6,5, sendo que a elevação de uma unidade de pH, pode vir a provocar a deficiência do elemento. Observações similares a esta são bastante comuns em literatura, podendo citar como exemplos: RITCHEY et alii (1986) e LINS & COX (1989), os quais citam que a aplicação excessiva de calcário elevando o pH do solo acima de 6,5 provavelmente poderá causar deficiência do zinco. Outro fator que afeta a disponibilidade do zinco é o uso de altas doses de fertilizantes fosfatados. Várias espécies de plantas já mostraram os efeitos da interação zinco x fósforo a qual induz a deficiência de zinco segundo OLSEN (1972) esta interação é maior em solos de valor alto de pH. A matéria orgânica é outro fator de interferência podendo adsorver grandes

quantidades de zinco à fração orgânica do solo. O zinco pode ser também temporariamente imobilizado nos corpos dos microrganismos do solo, especialmente quando da aplicação de esterco. A retirada da camada superficial do solo pode induzir a deficiência de zinco. O zinco é fortemente adsorvido pelos colóides do solo, o que ajuda a diminuir a perda por lixiviação aumentando o efeito residual. Por este motivo solos arenosos com baixa CTC e sujeitos a chuvas pesadas, podem apresentar problemas de deficiência. A extração pelas culturas pode diminuir a disponibilidade do zinco e até causar deficiências, já que é um elemento que se encontra em pequenas quantidades no solo.

2.3.2 Manganês.

No que se refere a disponibilidade do manganês para o estado de São Paulo, foi encontrado por VALADARES & CAMARGO (1983), valores solúveis em HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N variando de 0,4 a 193 ppm. Estudando diversos solos sob o cerrado LOPES (1983), encontrou valores variando de 0,6 a 92,2 ppm de manganês extraído com HCl 0,1 N e ainda BATAGLIA & VAN RAIJ (1989), encontrou teores de manganês variando entre 3 a 117 ppm, com um valor médio de 29 ppm, quando extraído com HCl 0,1 N.

Os principais fatores que regulam a disponibilidade de manganês são: pH, matéria orgânica, condições climáticas, tipos de solo, balanço nutricional e aeração do solo. A maior disponibilidade do manganês é na faixa de pH 5,0 a 6,5 em água, a elevação de uma unidade de pH, pode levar ao aparecimento de deficiência. Pode ocorrer interação Mn x pH pelo excesso de

calagem, segundo ABREU et alii (1991) e NOVAIS et alii (1989), a baixa disponibilidade do manganês para a planta está relacionada com o valor do pH do solo. Alguns solos orgânicos, pela formação de complexos muito estáveis entre a matéria orgânica e o manganês podem induzir a deficiência. Em condições de alta umidade do solo principalmente em solos com alto teor de matéria orgânica, durante a estação fria com baixas temperaturas no solo ocorre a diminuição da disponibilidade do manganês. Solos arenosos com baixa CTC e sujeitos a altos índices pluviométricos, são mais propensos a apresentar deficiências. Desequilíbrio em relação ao cálcio, magnésio e ferro também pode causar deficiência de manganês nas plantas. Solos encharcados (campo de arroz irrigado por inundação) as bactérias anaeróbicas reduzem o Mn^{+4} e o Mn^{+3} , para Mn^{+2} , o qual pode vir a provocar fitotoxicidade.

2.3.3 Ferro

Pode-se comentar a respeito da disponibilidade do ferro, que em regiões ricas de matéria orgânica, segundo KRAUSKOPF (1983), grande parte do ferro pode estar reduzida a Fe^{+2} , na solução do solo ou adsorvido às superfícies das partículas. Quanto a faixa de disponibilidade do ferro, BATAGLIA & VAN RAIJ (1989), trabalhando com 26 solos encontrou valores de ferro disponível, variando entre 6 a 120 ppm tendo como valor médio 27 ppm quando extraído com HCl 0,1 N.

Os principais fatores que regulam a disponibilidade do ferro são: pH, aeração do solo e desequilíbrio catiônico. A maior disponibilidade do ferro encontra-se na faixa de pH em água

entre 4,0 a 6,0, a elevação de uma unidade de pH, faz com que a concentração do ferro caia, podendo levar a deficiência. Em solos encharcados (campos de arroz irrigados por inundação), as bactérias anaeróbicas reduzem o Fe^{+3} a Fe^{+2} o qual pode-se acumular, provocando toxidez. A deficiência de ferro acredita-se ser causada, principalmente por desequilíbrio nutricional em relação a outros metais, tais como: cobre, manganês e zinco. A combinação de outros fatores pode levar a deficiência desse elemento, tais como: excesso de fósforo no solo, efeitos combinados de pH elevado, calagem excessiva, baixas temperaturas, altos níveis de bicarbonatos e matéria orgânica.

2.4 NÍVEIS CRÍTICOS NO SOLO.

Ao que se refere aos micronutrientes, as informações são bastante incipientes. Dentre os micronutrientes o Boro parece ser o mais limitante na produção de batatinha, soja e trigo, nos diversos tipos de solos de várzeas, seguindo-se o Cobre e ou Zinco em algumas situações, COQUEIRO & ANDRADE (1974) e GALRAO (1984).

COX & KAMPRATH (1983) descrevem que os níveis críticos de zinco e manganês disponíveis no solo estão diretamente relacionados com o extrator, tipo de cultura, pH e com o teor de matéria orgânica do solo. Usando HCL 0,1 N encontraram valores entre 1 a 7,5 de zinco como nível crítico para o milho (*Zea mays*).

Os níveis críticos de zinco no solo para o milho cultivado em um Latossolo sob cerrado foram determinados por RITCHEY et alli (1986), os quais encontraram valores de 1,4; 1,0; e 0,7 ppm, obtidos respectivamente, através das seguintes soluções extratoras: HCl 0,1 N, Mehlich e DTPA-TEA. Apesar dos diferentes níveis críticos determinados pelos extratores, foram obtidas altas correlações entre o Zn aplicado e o zinco extraído e entre os extratores. Esses resultados indicam que os extratores usados foram adequados para determinar o nível de suficiência ou deficiência de Zn do solo, para as condições estudadas.

Para GALRAO & MESQUITA FILHO (1981) e LOPES (1986) o nível crítico de zinco no solo sob cerrado, pelo método Carolina do Norte (Mehlich), é de 1 ppm. Sendo que LINS & COX (1989),

trabalhando com a cultura do milho em diversos solos com diferentes teores de argila e níveis de pH, sugerem como nível crítico para solos com baixa CTC, os valores de: 1,0; 1,4 e 2,0 ppm, correspondentes aos respectivos níveis de pH 5,2; 5,7 e 6,2.

Segundo LOPES (1984), o ferro e manganês disponíveis parecem estar em níveis adequados para a maioria das culturas nos solos estudados, variando com a amplitude de 3,7 a 74 e de 0,6 a 92,2 com medianas de 32,5 e 7,6 ppm respectivamente. Para o manganês tem sido usado o nível crítico de 5 ppm, a um valor de pH 6,0, quando se utiliza na extração o HCl 0,05 N + H_2SO_4 0,025 N, segundo COX & KAMPRAT (1983). Conforme LOPES (1983), quando os solos apresentam pH menores do que 6,0, esse nível na realidade deverá ser mais baixo. O mesmo autor observou que solos de cerrado e de várzeas apresentam altos teores de ferro, apesar de não se ter informações de níveis críticos de ferro extraível desses solos. Logo é importante resaltar que os níveis críticos, estão sujeitos a variação dos parâmetros do solo (textura, pH, matéria orgânica), além de fatores da planta e do clima. Também foi observado por NOVAIS et alii (1989), que mesmo em solo natural (com aplicação de calcário), o sintoma de deficiência na cultura da soja, ocorria devido ao pH do solo ser elevado (6,7 em água), sendo que o solo em questão tinha 7 ppm de manganês disponível, quando utilizado como extrator o Mehlich, o que foi considerado como crítico para esta cultura, uma vez que manganês existente encontrava-se em baixa disponibilidade para as plantas.

2.5 MÉTODOS DE EXTRAÇÃO.

Comparando os métodos de extração dos micronutrientes catiônicos, CAMARGO et alii (1982), trabalhando com 24 perfis de solo, observaram que o extrator complexante (DTPA-TEA), extraíu quantidades maiores de ferro, zinco, cobre e manganês, quando comparado com o extrator ácido (Mehlich), sendo que estes dois extratores apresentaram altas correlações para os elementos manganês e zinco e baixas correlações para o cobre e ferro com relação solo:solução de 1:2 e 1:5 respectivamente.

BATAGLIA & VAN RAIJ (1989), trabalhando com 26 solos comprovaram que o HCl 0,1 N e Na₂-EDTA 0,1 M, nos dois casos com relação solo:solução 1:4, foram igualmente em relação aos teores e as quantidades absorvidas de Zn, para as culturas do girassol e sorgo. Neste estudo os valores de Cu, Fe, e Mn extraídos do solo foram mais elevados quando da utilização do Na₂-EDTA, comparando aos obtidos por HCl 0,1 N. Os autores também destacam a simplicidade do HCl na determinação conjunta destes quatro elementos, como um fator a influir na escolha do extrator.

No trabalho realizado por LENTAMANN & MEURER (1982) em 10 unidades de solo do Rio Grande do Sul, foi encontrado um maior grau de correlação na relação zinco absorvido pelo milho e zinco extraído do solo para os extratores complexantes em comparação com os extratores ácidos. Os autores citam que estes resultados se apresentam invertidos em relação a bibliografia citada, atribuindo estas diferenças as características química e físicas dos solos testados. Quando comparados os extratores o estudo

mostra que em média os extratores de ácido diluído (HCl 0,1 N - 1:4), extraíram mais zinco do solo que o Na₂-EDTA (1:4) e atribuí este resultado à redução do pH do extrato, valores em torno de 1,0 a 2,5, solubilizando, desta forma, compostos de zinco não dissolvidos pela solução contendo Na₂-EDTA.

Para o zinco extraído com HCl 0,1 N (1:10) e Na₂-EDTA 0,05 M (1:10) MURAOKA et alii (1983 a), obtiveram uma alta correlação entre os extratores, já em outro trabalho MURAOKA et alii (1983 b), experimentando 22 solos observaram que o extrator HCl 0,1 N (1:10) extraía quantidades maiores de manganês quando comparado com o extrator complexante nas mesmas condições.

GALRÃO (1988) trabalhando com solos de várzeas, constatou que os extratores complexantes extraíram mais cobre do que os extratores ácidos.

2.6 RECUPERAÇÃO DE FERRO, ZINCO E MANGANES APLICADO NO SOLO.

A recuperação de micronutrientes aplicados ao solo é um assunto que geralmente está incluído em estudos generalizados destes elementos, principalmente em regiões deficientes.

Nos trabalhos em vasos de GALRAO & MESQUITA FILHO (1981) e de LINS & COX (1989), pode-se observar que a recuperação do zinco adicionado na forma de sulfato, através de extrator ácido, foi ao redor de 60%.

Como experimentos realizados a campo, com menos controle das concentrações finais dos tratamentos, pode-se citar os trabalhos de RITCHEY et alii (1986) e GALRAO (1989). No primeiro observa-se uma alta correlação próxima de 85% entre o zinco aplicado e o zinco extraído por dois extratores ácidos e um complexante, com recuperação abaixo de 50% e diferenciada por extrator. No segundo ocorreu uma recuperação de 37% e 40% do zinco aplicado para o primeiro e o segundo cultivos respectivamente.

2.7 ZINCO, MANGANÊS E FERRO NA PLANTA.

2.7.1 Absorção, transporte e redistribuição.

As informações contidas neste item, por serem generalizadas e de amplo conhecimento, são resultado de uma revisão bibliográfica principalmente baseada nos seguintes autores: DECHEN (1988); MALAVOLTA (1980); MENGEL & KIRKBY (1987).

A forma do zinco predominantemente absorvida é a forma Zn^{2+} , podendo ser também absorvido na forma de Zn-quelato.

Na literatura não há consenso se a absorção do zinco é ativa ou passiva, porém, aceita-se que absorção radicular seja ativa. Como outros micronutrientes catiônicos, o transporte a longa distância do zinco é feito principalmente pelo xilema na forma de compostos orgânicos. O zinco é considerado elemento pouco móvel, sendo sua redistribuição feita principalmente pelo floema, podendo acumular nas raízes especialmente quando o suprimento é alto.

A forma do manganês absorvido ativamente pela planta é como Mn^{2+} e sua quantidade diminui na unidade de tempo e na presença de altas concentrações de outros cátions. Em seu comportamento químico, o Mn mostra propriedades de cátions alcalinos terrosos tais como Mg^{2+} e Ca^{2+} e de metais pesados (zinco e ferro). Por esta razão não é de surpreender que essas espécies de íons afetem a absorção e transporte deste elemento na planta. E quanto a sua mobilidade na planta o manganês é considerado um nutriente de pequena redistribuição.

O Fe pode ser absorvido pelas raízes como Fe^{2+} e Fe^{3+} . Ao que parece a eficiência da absorção está relacionada com a capacidade que as raízes possuem de efetuar na superfície externa do plasmalema a redução $\text{Fe}^{3+} + e^- = \text{Fe}^{2+}$. A absorção de Fe é consideravelmente influenciada por outros cátions. Efeitos competitivos na absorção de ferro tem sido observados com Mn^{2+} , Cu^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Zn^{2+} e com outros metais pesados, os quais podem induzir a deficiência de Fe em um certo número de espécies de plantas. O transporte do Fe se dá na corrente transpiratória, aparecendo largamente como quelato do Acido Cítrico no exsudato do xilema. Não sendo este nutriente facilmente redistribuído entre os diferentes órgãos das plantas.

2.7.2 Funções na planta.

Além dos comentários dos autores citados conforme item anterior, incluí as observações feitas por PRICE (1983).

O zinco é essencial para a síntese do triptofano que, por sua vez, é precursor do Acido Indol Acético (AIA). Como se sabe, o AIA é um dos responsáveis pelo aumento do volume celular. As plantas deficientes em Zinco mostram grande diminuição no nível de RNA o que resulta na diminuição da síntese de proteína, dificultando a divisão celular. Portanto o Zinco, está intimamente envolvido com o metabolismo do N na planta.

No que se refere aos papéis do Manganês na planta, este lembra muitas vezes o Magnésio; os dois íons formam pontes entre o ATP e os complexos de enzimas (fosfoquinases e

fosfotransferase). No ciclo dos ácidos tricarboxílicos operam descarboxilases e desidrogenases ativadas por Mn^{2+} , embora algumas vezes o Mg^{2+} possa substituí-lo. Outras enzimas tem exigência específica do Mn como a polimerase do RNA dando ao elemento um papel indireto na síntese de proteínas e na multiplicação celular. Na fotossíntese o Mn atua como doador de elétrons para a clorofila ativada e na síntese da clorofila.

Quanto ao Ferro pode-se dizer que sua tendência a formar complexos com os quelatos e sua habilidade de passar por mudanças de valências, são duas características importantes as quais realçam seus numerosos efeitos fisiológicos. Em plantas verdes é frequente uma boa correlação entre o nível de suprimento de Fe e o conteúdo de clorofila, também ocorre influência do Fe na atividade da catalase e peroxidase. Foi encontrado que em algas deficientes de Ferro, os cloroplastos continham menos do que a metade de cloroplastos RNA e cloroplastos ribossomos do que as plantas não deficientes em Ferro. O possível envolvimento do Fe no metabolismo de proteínas tem sido suspeitado devido a um número de autores que tem observado que em plantas deficientes de Ferro a fração de proteína decresce simultaneamente com um aumento no nível de compostos orgânicos nitrogenados solúveis.

2.7.3 Sintomas de deficiência e toxicidade.

A deficiência de micronutrientes, seja por sintomas visíveis ou nas anormalidades, se manifesta quando a reserva do solo é insuficiente ou tem diminuída a disponibilidade dos nutrientes para as plantas.

A deficiência de Zinco nas plantas é caracterizada por um clorose nas áreas internervais das folhas. Essas áreas apresentam um verde pálido, amarelo, ou mesmo branco. Nas monocotiledôneas, e particularmente no milho, bandas cloróticas formam-se em qualquer um dos lados das folhas, MENGEL & KIRKBY (1987). Também é citado por LOPES & CARVALHO (1988) que as plantas de milho, arroz e cana de açúcar, tornam-se anãs, devido a deficiência de Zinco. ARNON (1974) descreve esses sintomas, como encurtamento dos internódios e na produção de folhas novas pequenas, cloróticas e lanceoladas. Podem aparecer tonalidades roxas nos caules e nas folhas. Já os sintomas de toxicidade de Zinco se apresentam como redução no crescimento das raízes e ampliação da área foliar, a qual é seguida por clorose. Na soja foi observado que um pigmento vermelho pardo, provavelmente uma substância fenólica, é distribuída pela planta. Altos níveis de Zinco no meio de cultura diminuem a absorção do P e Fe, MENGEL & KIRKBY (1987).

Na deficiência do Manganês, ocorre uma desorganização no sistema lamelar, devido a serem os cloroplastos as organelas celulares mais sensíveis. A deficiência de Manganês lembra a deficiência do Magnésio, em ambos os casos uma clorose

internerval ocorre nas folhas, sendo que no caso dos sintomas de deficiência de Mn, são estes primeiro visíveis nas folhas mais jovens. Nas monocotiledôneas e particularmente na aveia, o sintoma de deficiência do Mn aparece na parte basal das folhas, MENGEL & KIRKBY (1987). Os sintomas de carência de Mn são descritos por LOPES & CARVALHO (1988) como clorose das folhas novas (rede verde grossa de nervuras sobre fundo amarelado) seguida de branqueamento, manchas pequenas e necróticas nas folhas e folhas anormais. A toxicidade de Mn, segundo MENGEL & KIRKBY (1987), é caracterizada geralmente por pontuações marrom de MnO_2 nas folhas mais velhas, rodeadas por áreas cloróticas. Algumas vezes o excesso do Mn pode induzir a deficiência de outros nutrientes minerais tais como Fe, Mg e Ca. Por outro lado ARNON (1974) cita que geralmente os sintomas de toxidez se manifestam geralmente primeiro nas folhas mais novas, aparecendo pontuações de cor marrom ao longo das nervuras e também entre estas, seguidas de pontuações coalescidas e de manchas necrosadas. E segundo LOPES & CARVALHO (1988), os sintomas se apresentam a princípio como uma deficiência de Fe induzida, seguida de manchas necróticas ao longo do tecido condutor.

Já quanto a deficiência de Fe, pode-se dizer que esta se apresenta com alguma coisa similar a deficiência de Mg, ambas são caracterizadas por uma queda na produção de clorofila. A deficiência de Fe, entretanto sempre começa nas folhas mais novas. Na maioria das espécies a clorose é internerval e finamente reticulada, as nervuras verde escuro contrastam marcadamente contra um verde ou amarelo luminoso. As folhas mais novas podem ser completamente brancas e totalmente desprovidas de

clorofila. Nas folhas de cereais a deficiência é mostrada por estrias verde e amarela ao longo do comprimento da folha. O sintoma de excesso de Fe se caracteriza por manchas necróticas nas folhas (LOPES & CARVALHO, 1988; MALAVOLTA, 1980 e MENGEL & KIRKBY, 1987).

2.7.4 Teores de zinco, manganês, ferro e cobre na planta.

Diversos fatores influenciam na concentração dos elementos nas plantas, entre eles estão as interações. Neste item serão apenas citados alguns autores objetivando obter-se um enfoque geral.

MENGEL & KIRKBY (1987) classificaram o conteúdo de Zinco na massa seca de milho da seguinte forma (ppm): Deficiente:0-10, Baixo:11-20, Suficiente:21-70, Alto:71-150. JONES (1983), cita que a deficiência de Zn ocorre em muitas plantas quando a concentração nas folhas é menor que 20 ppm na matéria seca. E que o nível de concentração normal é de 25 a 150 ppm de Zn, sendo que níveis de toxicidade são observados quando o conteúdo de Zn nas folhas excede a 400 ppm.

A deficiência do Manganês ocorre normalmente quando a concentração dos tecidos das folhas é menor que 20 ppm na matéria seca. Amplas concentrações, mas não excessivas, oscilam de 20 a 500 ppm de Manganês. Existem dados limitados para delinear quando se apresenta toxicidade, mas pode-se dizer que níveis acima de 500 ppm, são provavelmente tóxicos para muitas plantas, (JONES, 1983). Foi citado também que a presença de sintomas de

deficiência de Mn em plantas de soja está relacionada com as concentrações de Al e Fe. Com níveis de Mn variando de 26 a 83 ppm nas folhas, se observa clorose unicamente quando as concentrações de Ferro e Alumínio estão ao redor de 800 a 900 ppm, respectivamente. MENGEL & KIRKBY (1987), citam que o nível crítico de Mn para a maioria das espécies de plantas varia de 10 a 20 ppm na matéria seca de folhas maduras. Sendo que a toxicidade de Mn, diferentemente da deficiência, não está restrita a uma faixa estreita crítica de concentração. É citado, ainda que valores de 200 ppm em milho a 5300 ppm no girassol estão associados a uma redução de 10 % na produtividade da matéria seca.

Em geral, quando os valores de Fe são de 50 ppm ou menos na matéria seca (JONES, 1983) é quase certo que se apresentem sintomas de deficiência, sendo considerada que a faixa de suficiência oscila entre 50 a 250 ppm de Fe. A fitotoxicidade por Fe não tem sido relatada em plantas de milho crescendo sob condições normais. A concentração de Fe nas plantas jovens pode ser extremamente alta, alcançando níveis acima de 300 a 400 ppm, reduzindo esta concentração com seu desenvolvimento.

A concentração de cobre nas plantas de 5 a 20 ppm é considerada normal, abaixo de 4 ppm pode ocorrer deficiência e acima de 20 ppm pode apresentar fitotoxicidade (JONES, 1983). Na planta de milho, segundo BATAGLIA & DECHEN (1986) é tido como concentração normal de 5 a 30 ppm.

2.8 INTERAÇÕES NO SOLO E NA PLANTA.

Segundo OLSEN (1983) a interação pode ser definida como: (1) uma influência, uma ação mútua ou recíproca de um elemento sobre o outro, em relação ao crescimento das plantas e (2) resposta diferencial de um elemento em combinação com níveis variáveis de um segundo elemento aplicado simultaneamente, isto é, os elementos se combinam para produzir um efeito adicional, devido não unicamente a um deles (ou um efeito negativo). Por exemplo, uma resposta em rendimento pode ser medida pelo P e Zn aplicados, mas a soma destas respostas individuais pode ser significativamente menor do que quando ambos são aplicados simultaneamente.

Como já mostrado anteriormente, os micronutrientes catiônicos tem diversas formas de interações (Zn x Cu, Zn x Fe, Fe x Mn e Fe x Cu). Estas podem ocorrer em nossos solos, principalmente em condições naturais, onde os solos são ácidos com alto teor de manganês e ferro disponível podendo interagir com o zinco e/ou com o cobre.

REDDY et alii (1978) constatou que a absorção e a translocação de zinco em plantas de soja foi inibida pelo alto teor de ferro e manganês. A explicação de outros experimentos com zinco parece também estar relacionada com as interações entre os micronutrientes catiônicos, como os desenvolvidos por GALRAO (1984), que observou acréscimo na produção de milho com cultivos sucessivos em solo deficiente em zinco, e tendo o autor

encontrado um claro decréscimo na relação Fe/Zn e Mn/Zn.

As interações Zn x Fe e/ou Mn podem ter sido uma das possíveis causas das dificuldades na determinação do nível crítico de zinco em solos de várzea em trabalho desenvolvido por ABREU et alii (1987). Podendo ser a primeira responsável pelos baixos níveis de zinco encontrados por OTTOW et alii (1983) e SAJWAN & LINDSAY (1988) em tecidos de arroz, com sintomas de toxidez de ferro. Logo, as relações Fe/Zn e Mn/Zn apontam como sendo fatores importantes para o estudo dos micronutrientes. Contudo outros fatores podem vir a influir sobre estas interações, como no caso da calagem, como pode ser constatado por RITCHEY et alii (1986), onde a relação Fe/Zn passou de 24,19 para 69,15 com o aumento na dose de calcário em 15 ton/ha.

As interações nutricionais podem ter comportamento diferenciado entre espécies, chegando até a diferenciação de comportamento entre variedades, conforme também será relatado a seguir.

2.8.1 Interação Zn x Fe.

Vários trabalhos mostram um decréscimo no conteúdo de ferro, nos tecidos das plantas devido a adição de zinco, e outros observaram o decréscimo no conteúdo de zinco, nos tecidos da planta devido a aplicação de ferro.

A preocupação com a interação entre Zn x Fe foi levantada por WATANABE et alii (1965) para a cultura do milho quando o excesso do zinco em solução nutritiva causou deficiência

de ferro. Neste mesmo trabalho onde o autor usou milho (*Zea mays* L.), como cultura teste para estudar a interação entre P, Fe e Zn; a adição de Zn ao nível intermediário de Fe acentuou os sintomas de deficiência de Fe e decresceu a produtividade. Este efeito adverso na produtividade não diz respeito a concentração de Fe na planta mas sim ao decréscimo da relação Fe/Zn abaixo de 1,5. A adição de Fe corrigiu este efeito adverso na produtividade. O autor sugere que o aumento de Zn nas plantas de milho desordena a função metabólica do Fe, causando uma depressão na produtividade.

WARNOCK (1970) constatou que plantas deficientes de Zn acumularam um excesso de Fe, e atribuiu a este excesso o mau funcionamento fisiológico em plantas de milho deficientes em Zn.

Trabalhando com a cultura de feijão, POLSON & ADAMS (1970) observaram que a medida que aumentou a concentração de zinco aumentou a concentração de ferro nas raízes, porém, diminuiu nas folhas do feijão. Possivelmente o zinco prejudicou o transporte de ferro.

AMBLER et alii (1970) cultivando soja em solução nutritiva observou que o zinco interfere no transporte do ferro da raiz para a parte aérea, através da diminuição da capacidade do sistema radicular de reduzir o Fe^{+3} para Fe^{+2} , sendo que esta última é a principal forma de ferro absorvida pelas plantas.

BRAR & SEKAHON (1976 a) trabalhando com cultura de arroz constataram que a aplicação de zinco aumentou a absorção de zinco pelas plantas, e decresceu a absorção do mesmo quando houve um aumento na concentração de ferro na solução. O total da absorção de zinco caiu em torno de 85% quando os níveis de

aplicação de ferro variaram de 0 a 60 micromol. A percentual redução na absorção de zinco causada pela adição de ferro na solução foi maior nos níveis mais baixos de zinco. O transporte do zinco caiu com o aumento dos níveis de ferro.

A toxicidade do Zn e as interações Zn-Fe foram estudados por ROSEN et alii (1977) no milho (*Zea mays* L. var. Barbecue híbrido) crescendo em cultura hidropônica. Altos níveis de Zn reduziram grandemente os pesos secos das raízes e da parte aérea, mas a medida que eram elevados os níveis de ferro, o crescimento normal da planta era restaurado. As análises de correlação entre Zn e Fe nas raízes e folhas, sugeriram que o Zn pode interferir no transporte do Fe, entretanto a toxicidade de Zn não foi associada a redução do conteúdo de Fe nas folhas. A adição de Fe retardou ambos, absorção e transporte de Zn. A clorose em plantas com excesso de Zn não foi atribuída a diminuição total do Fe na folha, embora esta clorose tenha sido aliviada pelo aumento na concentração de Fe. O zinco pode, com sucesso, competir com o ferro por certos sítios, onde uma vez ligado o zinco, este não seria tão facilmente deslocado pelo ferro.

REDDY et alii (1978) observaram que as variações dos níveis de Fe e Mn na solução nutritiva em plantas de soja interferiram negativamente na absorção e transporte do zinco. VOSKRESENSKAYA et alii (1986), trabalhando também em solução nutritiva, observaram que o excesso de zinco causou decréscimo na absorção, transporte e utilização do ferro no tecido. NAMBIAR & MOTIRAMANI (1981) constataram que a relação Fe/Zn nas plantas parece ser uma fonte promissora à diagnose de deficiência

de zinco. Com os aumentos de níveis de zinco aplicado em quatro solos, eles encontraram um aumento do elemento na planta. Dependendo do tipo de solo foram obtidas diferentes correlações entre os níveis de zinco aplicado e os níveis na planta. Neste trabalho a concentração de ferro no milho caiu significativamente com a aplicação de zinco, aumentando a produtividade de matéria seca, exceto num tipo de solo. A resposta da aplicação de zinco foi associada à queda da relação Fe/Zn, permitindo estabelecer um nível crítico de zinco ao redor de 6.

Segundo SINGH & SINGH (1983) a concentração e a absorção de Fe na planta diminuíram com a aplicação de zinco na ausência de adição do fósforo, mas quando o fósforo foi adicionado os efeitos foram menores.

VERMA & TRIPATHI (1983) estudando a redistribuição de ferro e zinco da palhada para o grão de arroz irrigado, observaram que o aumento na concentração de ferro na palhada, bem como nos grãos de arroz devido a adição de Fe, foi muito mais alto na ausência do que na presença das doses mais elevadas de zinco. OLSEN (1983) apresenta uma revisão sobre interações ocorridas entre zinco e ferro, comentando que o funcionamento metabólico do ferro nas plantas está ligado, de alguma maneira, ao suprimento de zinco. O autor faz várias citações, onde relata que na presença de outros fatores limitantes ao crescimento, tais como a concentração de fósforo e o pH, os níveis de ferro na planta podem ser elevados e a adição de zinco pode ter pouco efeito no conteúdo de ferro.

A interação entre zinco e ferro pode ser observada a nível de campo por dados encontrados por RITCHEY et alii (1986),

quando o valor de ferro no tecido do milho decresceu em mais de 600 ppm com aplicação de 6 Kg zinco por hectare, sem que ocorresse decréscimo na produção.

Trabalhando com milho em 4 solos de cerrado com diferentes níveis de pH e teor de argila LINS & COX (1989) encontraram um forte efeito antagônico entre o zinco e o ferro.

SAJWAN & LINDSAY (1988) observaram que a aplicação de zinco diminuiu a disponibilidade do ferro e do manganês no solo extraído pelo DTPA. Para redução da disponibilidade de ferro, os autores levantaram a hipótese da possibilidade da formação de franklinita (ZnFe_2O_4). KABATA-PENDIAS & PENDIAS (1985) revisando as interações do ferro com outros elementos, também relatam a possibilidade da formação da franklinita (ZnFe_2O_4) reduzindo a disponibilidade de ferro e zinco.

Pelos trabalhos apresentados podemos inferir que a interação zinco x ferro pode ocorrer tanto no solo como na planta, a qual está sujeita as seguintes influências: formação de compostos no solo como a franklinita, exsudação radicular, mecanismo de absorção e transporte no vegetal, competição por sítio enzimático e na relação Fe/Zn da planta.

Diante do exposto sobre a interação ferro x zinco pode-se dizer que trabalhos relatados permitem orientar para uma melhor interpretação de resultados experimentais, proporcionando assim recomendações mais equilibradas.

2.8.2 Interação Zn x Mn.

FUEHRING & SOOFI (1964), observaram que a produtividade de grãos de milho foi relativamente alta quando a concentração foliar foi de 20 ppm de zinco, enquanto que a produtividade de palhada foi mais alta a 145 ppm de Zn. Uma significância altamente positiva entre Zn e Mn, na produtividade de grãos, indicou que o aumento de qualquer um dos elementos diminui o efeito tóxico do outro. Entretanto, a interação Zn-Mn foi negativa para produtividade de palhada, e o aumento de Mn tendeu a decrescer esta produtividade até os mais altos níveis de Zn aplicados. Uma possível interferência de Zn com a translocação de carboidratos para os órgãos de armazenagem da planta foi postulado. O ótimo nível de Zn nas folhas para a produção de grãos foi afetado grandemente pelo nível de Mn; baixos níveis de Mn nas folhas resultaram em baixo requerimento de Zn, enquanto que mais altas concentrações de Mn nas folhas resultaram em altos requerimentos de Zn para ambos grãos e palhada. Em particular a combinação de altos níveis de Zn (145 ppm) e baixos níveis de Mn (105 ppm) nas folhas resultaram em altas produtividades de palhada combinadas com baixas produtividades de grãos de milho.

Foi relatado por SINGH & STEENBERG (1974) que quantidades de Mn absorvidas pelo milho e cevada marcadamente decresceram com aumentos do conteúdo de Zn no solo, o que atribuíram a competição iônica.

Relatos da interação zinco e manganês são raros e conflitantes. BRAR & SEKHON (1976 b) citam que em estudos de

culturas em solução nutritiva, a absorção do zinco pelas plantas de arroz, foi consideravelmente reduzida pelo aumento na concentração de Mn.

Estudando influência do fósforo sobre a sua absorção e a do zinco, ferro, manganês e cobre pelas plantas de soja, WALLACE et alii (1978) concluíram que a concentração de manganês e de zinco foram diretamente proporcionais entre si e inversamente proporcionais em relação as concentrações do ferro.

Em um Latossolo Vermelho Escuro de textura argilosa, sob o cerrado SILVA et alii (1986), observaram que o rendimento foi correlacionado positivamente com os teores de zinco nas folhas de soja e negativamente com os teores de manganês, mostrando uma forte interação entre este nutriente sobre o manganês.

A interação zinco x manganês pode ser observada na competição iônica, na translocação de carboidratos e na relação Mn/Zn, sendo que foram encontrados poucos relatos a respeito da referida interação para a cultura do milho.

2.8.3 Outras interações.

Além das interações entre Zn X Fe e Zn X Mn, o cobre tem mostrado sensibilidade a variação de zinco, como foi observado por POLSON & ADAMS (1970), os quais constataram que a medida que foi aplicado zinco aumentou a concentração de cobre e de ferro nas raízes, porém, esta diminuiu nas folhas do feijão, o que possivelmente pode ser devido ao fato do zinco prejudicar a transporte do cobre e do ferro.

Nos solos Podzolizados Lins e Marília, foi encontrado que 53% dos cafezais eram deficientes em Fe. Nesses solos a relação Fe/Mn média nas folhas foi de 0,33 , enquanto que, no Latossolo Roxo, onde não se detectou deficiência, a relação foi de 1,09 (GALLO et alii, 1970). Segundo LOPES (1983) a relação Fe/Mn ideal para as culturas é de 1 a 5.

CHAUDHRY et alii (1973) estudaram o efeito de várias doses de cobre e zinco sobre a absorção deles na cultura de arroz. Os autores observaram um efeito antagônico da aplicação de zinco sobre o cobre absorvido, sem ter sido observado o mesmo efeito do cobre sobre o zinco.

Cultivando plantas de feijão, em solução nutritiva com pH 7,2, WALLACE et alii (1978), observou que o aumento do teor de fósforo na solução diminuiu a concentração de zinco, manganês e cobre nas folhas, colmos e raízes, porém, com pH 4,2 , aumentaram os teores destes nutrientes.

FLORES et alii (1979) encontraram que a disponibilidade no solo de zinco aumentou com a elevação da disponibilidade de cobre.

ALVARES-TINAUT et alii (1980) verificaram que a absorção e a distribuição do ferro em culturas hidropônicas de tomate, sofreram um efeito antagônico quando o Mn era elevado a níveis tóxicos para a planta.

É bastante comum que na interação Fe-Mn, principalmente em café cultivado em solos ácidos, ocorra sintomas de toxicidade de Mn, manifestada na forma de uma clorose internerval, bastante semelhante à deficiência de Fe. Essa toxicidade é associada com a menor absorção e transporte do Fe, segundo LOPES (1983).

GALRÃO (1984) constatou um aumento nos teores de ferro, manganês e cobre no tecido na ausência de aplicação de zinco, nas culturas de soja e milho. A baixa relação Fe/Mn, acompanhada de baixa produção nas plantas cultivadas em solos com altos níveis de manganês foi encontrado por diversos autores, como MALAVOLTA & KLIEMANN (1985); BATAGLIA (1988), sendo citado que a correção com matéria orgânica e calagem é uma alternativa na elevação desta relação com reflexos positivos na produção.

Já para a cultura do arroz VERMA & MINHAS (1989), observaram que o teor de manganês no grão e na palhada aumentou com a aplicação de Mn, e caiu com aplicação do ferro, mas quando foi aplicado silício aumentou a redistribuição do manganês da palhada para o grão.

Além das interações zinco x ferro e zinco x manganês estes relatos indicam que a absorção do cobre é sensível a aplicação de zinco, e também que existem vários parâmetros que são influenciados pela interação ferro x manganês.

MATERIAL E MÉTODOS.

Toda a parte experimental do trabalho foi conduzida em casa de vegetação, em LATOSSOLO VERMELHO ESCURO, de textura argilosa. Coletou-se aproximadamente 900 Kg de solo da camada superficial (0-20 cm) em uma área cultivada com plantio direto na região de Ponta Grossa - PR, transferindo-se para casa de vegetação, passando em peneiras para eliminar os torrões, pedras, resíduos vegetais.

As características químicas deste solo encontram-se na TABELA 1.

TABELA 1: Características Químicas do solo utilizado no experimento em casa de vegetação:

pH (CaCl ₂)	5,50
Al+3 (meq/100 cm ³ solo)	0,00
H + Al (meq/100cm ³ solo - SMP)	4,40
Ca + Mg (meq/100cm ³ solo)	8,80
Ca (meq/100cm ³ solo)	6,20
Mg (meq/100cm ³ solo)	2,60
K (meq/100cm ³ solo)	1,14
P (ppm)	31,00
C (%)	4,90
Mn (ppm)	11,00
Zn (ppm)	4,10
Cu (ppm)	2,10
Fe (ppm)	48,00

Obs.: Para a extração do Mn, Cu, Fe e Zn foi utilizado como extrator o HCl 0,1 N.

3.1 INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no Departamento de Solos do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, em Curitiba - PR.

Foi utilizado como planta teste o Milho (*Zea mays* L.), cultivar OCEPAR 202, recomendada para o Estado do Paraná. O cultivar é proveniente do programa de melhoramento genético da Organização das Cooperativas do Paraná. Esta cultivar não é um híbrido, mas sim uma variedade considerada de boa produtividade. O solo foi seco ao ar e passado em peneira 5 mm, utilizando-se 6,7 Kg de solo por vaso.

Foram realizados dois experimentos independentes em delineamento inteiramente casualizado, com 4 repetições, totalizando 96 unidades experimentais. Os tratamentos foram arrançados fatorialmente, tendo sido estudado no primeiro experimento a interação zinco x ferro com 4 níveis de zinco e 3 níveis de ferro, assim constituídos: Zn (0, 3, 9 e 27 ppm); Fe(0, 5, e 50 ppm). No segundo experimento foi estudada a interação zinco x manganês com 4 níveis de zinco e 3 níveis de manganês assim constituídos: Zn (0, 3, 9 e 27 ppm); Mn (0, 5 e 50 ppm). Todos os tratamentos foram aplicados em solução, utilizando-se as seguintes fontes: Sulfato de Zinco Heptahidratado P.A. ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$), Sulfato Manganoso Monohidratado P.A. ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), e Sulfato Ferroso Heptahidratado P.A. ($\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$). A adubação básica de plantio foi uniforme para todos os tratamentos, sendo aplicada na forma sólida, conforme TABELA 2.

TABELA 2: Adubação básica para o plantio.

ELEMENTO	FORMA	QUANTIDADE (ppm.)
POTASSIO	Cloreto de potássio	150
FOSFORO	Superfosfato simples	150
NITROGENIO	Uréia	50
ENXOFRE	Sulfato de Sódio	
	Anídrico	42

Aplicou-se Nitrogênio como adubação de cobertura na forma de uréia, aos 15, 30 e 45 dias após a emergência, utilizando 50 ppm em cada aplicação. E para corrigir o desequilíbrio causado nas quantidades de enxofre devido a adição de micronutrientes, aplicou-se Sulfato de Sódio.

A semeadura foi realizada na primeira semana de fevereiro de 1.990 com oito sementes por vaso, e aos oito dias após a emergência (DAE), praticou-se o desbaste deixando 4 plantas por vaso, as quais permaneceram até o dia do corte. Os vasos foram irrigados diariamente com água deionizada de acordo com a necessidade das plantas. Executou-se mondas com a finalidade de manter o milho limpo da concorrência de outras espécies vegetais. Foi procedida também a catação manual de pragas.

As alturas das plantas foram medidas semanalmente, até a colheita aos sessenta dias após a emergência. As avaliações da diagnose visual foram realizadas em duas épocas: Aos 45 dias (DAE) e na colheita do material. No momento da colheita do material procedeu-se as seguintes medidas: comprimento da planta; diâmetro do colmo a 10 cm do solo, com o uso de paquímetro; e massa verde das plantas e massa seca a 60°C. As plantas foram cortadas a um centímetro do solo.

Lavou-se as plantas com água deionizada, repetindo-se três vezes esta operação, deixando-as cuidadosamente limpas, evitando-se com isto a contaminação do material para realizar as análises químicas.

Os dados foram avaliados por meio da análise de variância e submetidos ao teste de Tukey para a comparação de média ao nível de 5% de probabilidade, e quando necessário foram feitas correlações entre as variáveis de interesse do trabalho. (GOMES, 1970 ; STELL & TORRIE, 1960).

3.2 ANALISES QUIMICAS.

3.2.1 Análise química do solo.

Foram realizadas determinações de pH, Alumínio, Alumínio Hidrogênio, Carbono, Cálcio, Magnésio, Potássio e Fósforo, de acordo com a metodologia utilizada na rotina do Laboratório de Fertilidade do Solo da Universidade Federal do Paraná, a partir da metodologia proposta pela EMBRAPA (1979).

Para a determinação do Zinco, Manganês, Ferro e Cobre disponível no solo foram usados dois extratores:

a) Acido Clorídrico 0,1 N (TUCKER & KOURTZ, 1.955)- Utilizando-se 5 g de solo (T.F.S.A) e 50 ml de HCl 0,1 N. Após isto foi procedida a centrifugação sendo retirados 10 ml do sobrenadante para a determinação dos 4 elementos: Zn, Cu, Mn e Fe por espectrofotometria de absorção atômica.

b) EDTA Dissódico 0,005 M (1:10), sendo utilizada a metodologia proposta por MURAOKA et alii (1983a). A mistura foi agitada por 60 minutos e filtrada através de papel de filtro S & S Faixa Azul. Foi determinado Fe, Zn, Mn e Cu por espectrofotometria de absorção atômica.

3.2.2 Análise química da planta.

A secagem do material foi realizada em estufa utilizando toda a planta da parte aérea, a uma temperatura de 60° C, até atingir peso constante. Após o material ter sido triturado e uniformizado, analisaram-se os seguintes elementos: Ferro, Zinco, Manganês e Cobre, sendo utilizada a metodologia de rotina do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da Universidade Federal do Paraná, conforme HILDEBRAND (1976). Todos os elementos foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.

Os resultados e discussão foram divididos em duas partes: A primeira sobre a disponibilidade às plantas dos micronutrientes do solo, relativo aos dois experimentos (ítems 4.1 e 4.2), e a segunda será sobre a resposta das plantas aos tratamentos aplicados, (ítems 4.3 e 4.4).

Os anexos de 1 a 4 apresentam os dados originais obtidos para parâmetros de solos e de plantas, relativos aos dois experimentos.

As tabelas a seguir foram confeccionadas com base nos resultados estatísticos obtidos, dando preferência às interações quando estas ocorreram.

4.1 **DISPONIBILIDADE AS PLANTAS DOS MICRONUTRIENTES CATIONICOS NO SOLO - EXPERIMENTO Zn x Fe.**

Observam-se no ANEXO 5 e 6 os resultados das análises de variância dos dados obtidos no experimento Zn x Fe, para zinco, manganês, ferro e cobre no solo, extraídos pelas as duas metodologias utilizadas.

4.1.1 ZINCO

Após a colheita, conforme a TABELA 3, os teores de zinco no solo, apresentaram um valor médio de 2,8 ppm e 21,9 ppm, extraído com HCl 0,1 N e de 2,1 ppm e 17,6 ppm extraído com Na₂-EDTA 0,005 M para as doses de 0 ppm e 27 ppm de zinco aplicado, respectivamente. Na TABELA 1 observa-se que o zinco no estado natural apresentava um teor de 4,1 ppm de zinco extraído com HCl 0,1 N, podendo este decréscimo na disponibilidade do zinco, além da retirada pela cultura, atribuído às alterações das condições climáticas, biológicas e outras ocorridas durante a condução do experimento. A aplicação de doses crescentes de zinco conforme o ANEXO 5 e 6, foi altamente significativa no aumento da disponibilidade de zinco no solo, para as duas metodologias utilizadas na extração do elemento. Este efeito positivo também foi encontrado por GALRAO & MESQUITA FILHO (1981) e LINS & COX (1989).

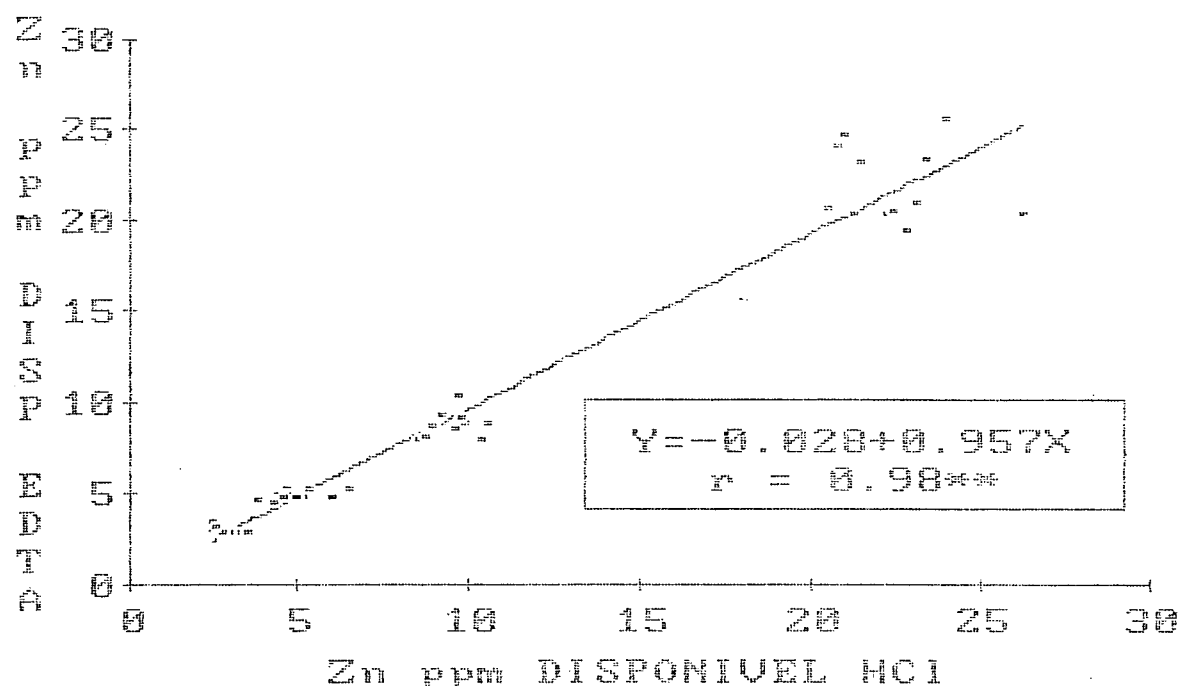
A interação níveis de zinco x níveis de ferro (TABELA 3), significativa para os dois extratores, conforme ANEXO 5 e 6, indica que os aumentos dos níveis de ferro e de zinco aplicados ao solo provocaram um aumento na disponibilidade do zinco extraído, principalmente nos tratamentos que receberam 50 ppm de ferro e 9 e 27 ppm de zinco. Esta interação positiva Zn x Fe difere da observação de OLSEN (1983) e KABATA-PENDIAS & PENDIAS (1985), os quais sugerem a redução da disponibilidade de zinco pelo carácter antagônico e pela formação de compostos poucos solúveis, respectivamente.

TABELA 3: Teores de zinco e manganês em ppm, no solo para interação níveis de zinco x níveis de ferro, após a colheita.

NÍVEIS x NÍVEIS Zn (ppm)	NÍVEIS Fe (ppm)	ZINCO HCl (ppm)	ZINCO Na ₂ -EDTA (ppm)	MANGANÊS Na ₂ -EDTA (ppm)
0	0	2,9 a	2,0 a	11,0 a
0	5	3,0 a	2,3 a	12,0 a
0	50	2,6 a	2,0 a	12,0 a
3	0	5,2 a	3,5 a	14,0 a
3	5	4,6 b	3,3 a	12,0 b
3	50	5,2 a	3,9 a	12,0 b
9	0	8,2 b	6,1 b	12,0 a
9	5	8,5 b	6,1 b	11,0 a
9	50	9,3 a	7,7 a	12,0 a
27	0	21,5 b	17,0 b	12,0 a
27	5	21,8 b	17,8 a	12,0 a
27	50	22,2 a	17,9 a	12,0 a

O comportamento entre os extratores (HCl 0,1 N e Na₂-EDTA), na extração do zinco no solo, apresentou um elevado grau de correlação ($r = 0,98^{**}$), sendo que os teores de zinco extraídos por ambos são próximos, com aumento da dispersão para valores superiores a 20 ppm, conforme a FIGURA 1. Correlação elevada entre estes extratores, também foi encontrada por BATAGLIA & VAN RAIJ (1989), com (r superior a 0,90 **), embora tenham utilizado o extrator complexante mais concentrado (0,1 M).

FIGURA 1: Correlação entre os extratores HCl 0,1 N e Na₂-EDTA 0,005 M na extração do zinco disponível no solo no experimento Zn x Fe. UFPR 1990.



A recuperação do zinco aplicado no solo, variou de 65 a 73 % e de 49 a 57 %, valores estes calculados a partir das médias por tratamento de zinco (TABELA 3), para os extratores ácido e complexante, respectivamente. Os resultados para o extrator ácido estão de acordo com os resultados encontrados por LINS & COX (1989), que recuperaram aproximadamente 2/3 de cada dose de zinco aplicada, embora tenham utilizado o extrator duplo ácido (Mehlich-1).

4.1.2 FERRO

Após a colheita, conforme a TABELA 4, os teores de ferro no solo, apresentaram valores médios de 66 e 71 ppm, extraído com HCl 0,1 N e de 91 a 105 ppm extraído com Na₂-EDTA 0,005 M, para as doses 0 e 50 ppm de ferro, respectivamente. Na TABELA 1, observa-se que o ferro no estado natural apresentava um teor de ppm, extraído com HCl 0,1 N, este aumento na disponibilidade ferro, pode ser devido a ocorrência do processo de redução favorecido pelas irrigações diárias durante a condução do experimento.

A aplicação de doses crescentes de ferro, conforme o ANEXO 5 e 6, foi altamente significativa no aumento da disponibilidade do ferro no solo para as duas metodologias utilizadas na extração do elemento. Porém este aumento da disponibilidade foi reduzido em relação as quantidades aplicadas, indicando um baixo índice de recuperação, principalmente para a extração com Na₂-EDTA 0,005 M. Este índice de recuperação do ferro aplicado ao solo variou de 10 a 40 % e de 0 a 28 %, valores estes calculados a partir das médias apresentadas na TABELA 4, para os extratores ácido e complexante, respectivamente.

Conforme o ANEXO 5 e 6, não ocorreu interação estatística, podendo ser observado que as dosagens de zinco aplicadas interferiram na disponibilidade do ferro, sem portanto apresentar um comportamento proporcional, resultando em 63; 71; 70; e 68 ppm para o extrator ácido e 90; 91; 103; e 99 ppm para o

extrator complexante, relativa às dosagens de zinco de 0, 3, 9 e 27 ppm, respectivamente.

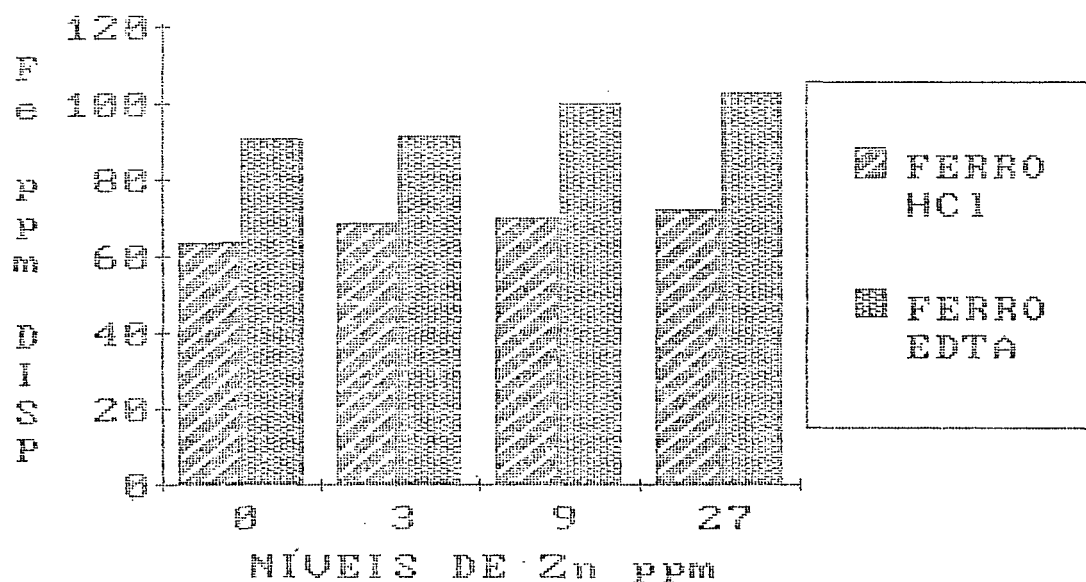
TABELA 4 - Teor médio de ferro em ppm, para o tratamento de ferro no experimento Zn X Fe, após a colheita, média de quatro repetições, UFPR, Curitiba - PR, 1990.

NIVEIS DE FERRO	FERRO HCl 0,1 N	FERRO Na ₂ -EDTA
0 (ppm)	66,0 B	91,0 B
5 (ppm)	68,0 AB	91,0 B
50 (ppm)	71,0 A	105,0 A
MÉDIA	68,0	96,0

OBS.: As médias seguidas da mesma letra maiúscula na vertical, não diferem significativamente, pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para cada tratamento.

A respeito do comportamento dos extratores, sobre a disponibilidade de ferro no solo, nota-se que o extrator Na₂-EDTA 0,005 M, extraiu mais ferro que o extrator HCl 0,1 N (FIGURA 2), em média 42 %. BATAGLIA & VAN RAIJ (1989), também encontrou que existe maior resposta do ferro aos extratores complexantes do que aos extratores ácidos, embora tenha trabalhado com o Na₂-EDTA (0,1 M). 2.30" 0,1 M..LS1

FIGURA 2: Comportamento entre os extratores HCl 0,1 N e Na₂-EDTA 0,005 M na extração do ferro disponível no solo do experimento Zn x Fe. UFPR 1990.



4.1.3 MANGANES

Na TABELA 1 observa-se que o manganês no seu estado natural não sofreu alteração significativa no seu teor com o cultivo. Também observa-se na TABELA 3, que ocorreu interação dos níveis de zinco x níveis de ferro, sobre o teor de manganês disponível no solo, sendo constatado apenas no tratamento que recebeu três ppm de zinco, com zero ppm de ferro. Neste caso ocorreu um aumento na disponibilidade do manganês no solo, quando extraído pelo Na₂-EDTA, apresentando comportamento não respaldado pela literatura.

4.1.4 COBRE

Conforme a TABELA 1, observa-se que o teor de cobre no solo no estado natural era de 2,1 ppm passando para 3,5 ppm na testemunha após o cultivo, extraído com HCl 0,1 N. Este aumento na disponibilidade do cobre, embora em menor proporção, também foi encontrado por GALRAO (1988), após o cultivo do trigo em solo orgânico de várzea, com valores iniciais não detectados pelo aparelho (traço), e valores finais de 0,3 ppm de cobre no solo, extraído com HCl 0,1 N.

Conforme o ANEXO 5 e TABELA 5, verifica-se apenas para a extração HCl 0,1 N, que os níveis crescentes de zinco proporcionaram aumentos altamente significativos nos teores de cobre disponível no solo. BARBOSA FILHO et alii (1990) também encontraram efeito significativo das doses de zinco sobre os teores de cobre extraídos do solo por HCl 0,1 N, embora os valores crescentes por eles observados não tenham apresentado as mesmas proporções.

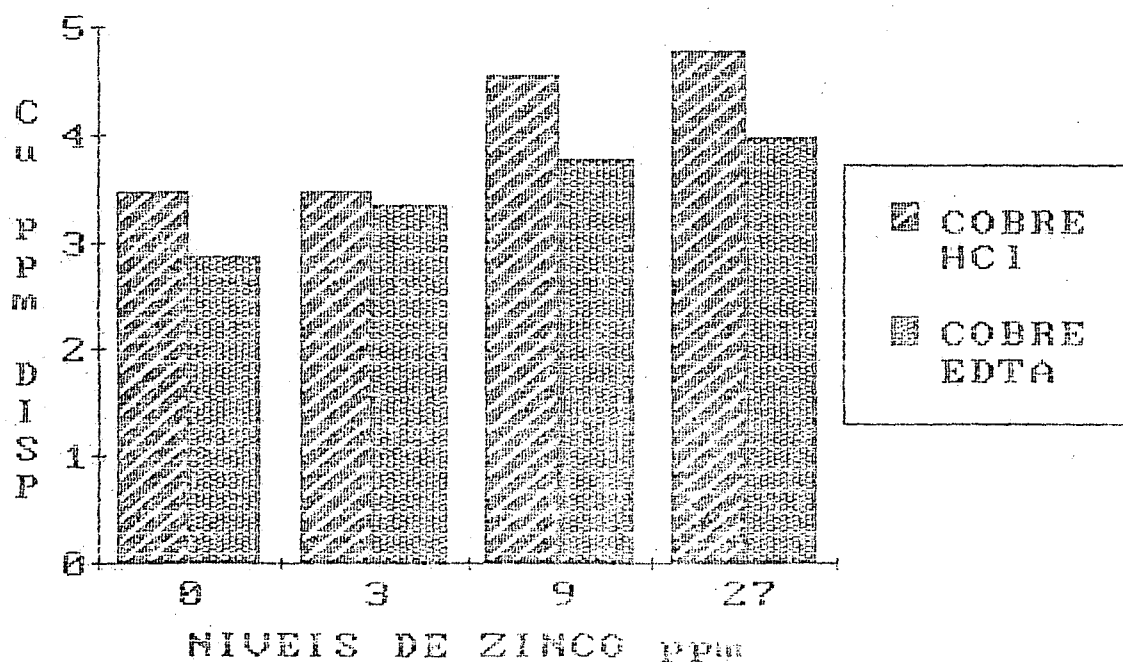
Na FIGURA 3, é possível observar que o extrator ácido extraíu mais cobre do solo do que o complexante, diferindo dos resultados encontrado por BATAGLIA & VAN RAIJ (1989), onde o Na₂-EDTA (0,1 M), extraíu 61 % em média a mais que o HCl 0,1 M. Porém cabe novamente lembrar que os autores citados trabalharam com concentrações bem mais elevadas do complexante.

TABELA 5 Teor de Cobre em ppm, no solo para o tratamento de zinco, no experimento Zn X Fe, após a colheita, média de quatro repetições UFPR, Curitiba - PR, 1990.

NIVEIS DE ZINCO	COBRE HCl 0,1 N
0 (ppm)	3,5 C
3 (ppm)	3,5 C
9 (ppm)	4,5 B
27 (ppm)	5,0 A
MÉDIA.	4,1

OBS.: As médias seguidas da mesma letra maiúscula na vertical, não diferem significativamente, pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para cada tratamento.

FIGURA 3: Comportamento dos extratores HCl 0,1 N e Na₂-EDTA 0,005 M, na extração do cobre disponível no solo no experimento Zn x Fe. UFPR 1990.



4.2 *DISPONIBILIDADE AS PLANTAS DOS MICRONUTRIENTES CATIONICOS NO SOLO DO EXPERIMENTO Zn x Mn.*

Observa-se nos ANEXOS 7 e 8, os resultados das análises de variância dos dados obtidos no experimento zinco x manganês, para a disponibilidade de zinco, ferro, manganês e cobre no solo, para as duas metodologias utilizadas.

4.2.1 ZINCO

Após a colheita conforme as TABELAS 6 e 7 os teores de zinco no solo apresentaram um valor médio de 2 ppm e 16,4 ppm, extraídos com Na₂-EDTA 0,005 M e de 2,8 ppm e 22,4 ppm, extraídos com HCl 0,1 N para as doses de 0 e 27 ppm de zinco aplicado, respectivamente. No estado natural, (TABELA 1), observa-se que o zinco apresentava um teor de 4,1 ppm extraído com HCl 0,1 N. Esta redução após o cultivo foi semelhante àquela encontrada no experimento Zn x Fe, descrito anteriormente.

A aplicação de doses crescentes de zinco conforme os ANEXOS 7 e 8 foi altamente significativa no aumento da disponibilidade do zinco no solo para as duas metodologias utilizadas na extração do elemento (TABELAS 6 e 7), repetindo o mesmo comportamento do primeiro experimento.

A interação níveis de zinco x níveis de manganês (TABELA 7), significativa para o extrator complexante, conforme o ANEXO 8, indica que os aumentos dos níveis de manganês e de zinco aplicados ao solo provocaram um aumento na disponibilidade do

zinco extraído, principalmente nos tratamentos que receberam 50 ppm de manganês e nas doses mais elevadas de zinco.

O comportamento entre os extratores (HCl 0,1 N e Na₂ - EDTA 0,005 M), na extração do zinco no solo, apresentou alto grau de correlação ($r = 0,99^{**}$), conforme FIGURA 4.

A recuperação do zinco aplicado ao solo, variou de 68 a 73 % e de 51 a 63 %, valores estes calculados a partir das médias das TABELAS 6 e 7, para os extratores ácido e complexante respectivamente, permanecendo também, neste experimento ao redor de 2/3 de recuperação.

TABELA 6: Teor de Zinco no solo, para o tratamento de zinco utilizando um extrator no experimento Zn X Mn, após o cultivo, média de quatro repetições, UFPR, Curitiba - PR, 1990.

NÍVEIS DE ZINCO.	ZINCO HCl 0,1 N
0 (ppm)	2,8 D
3 (ppm)	4,9 C
9 (ppm)	9,4 B
27 (ppm)	22,4 A
MÉDIA	9,9

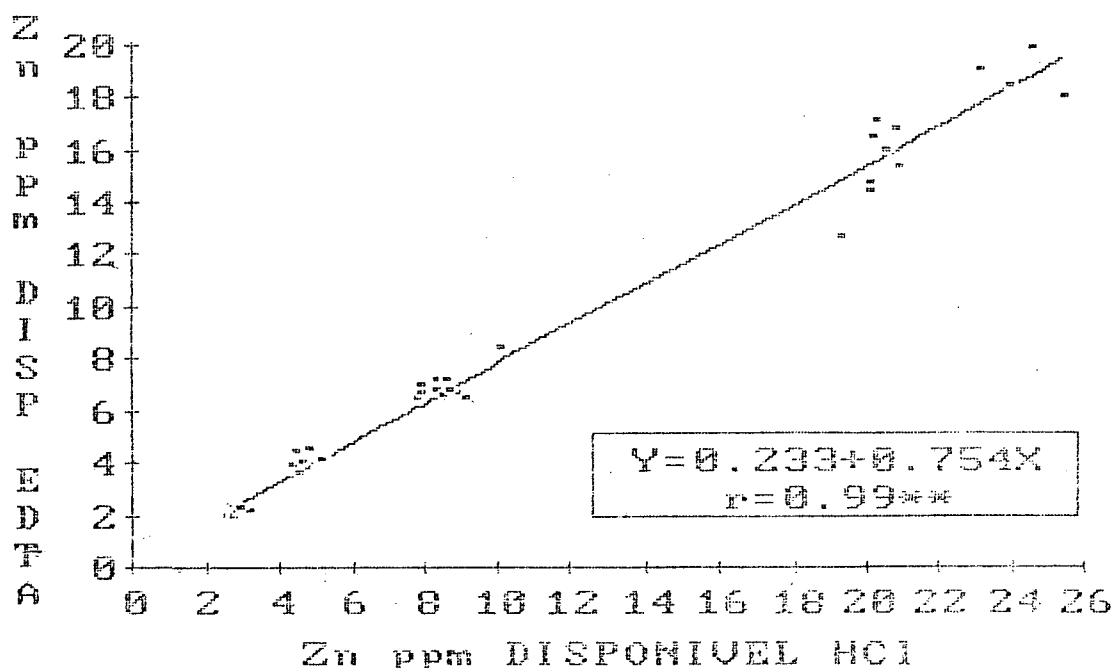
OBS.: As médias seguidas da mesma letra maiúscula na vertical, não diferem significativamente, pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para cada tratamento.

TABELA 7 Teores de zinco e ferro em ppm no solo, para a interação de níveis de zinco x níveis de manganês, após a colheita.

NÍVEIS Zn (ppm)	NÍVEIS Mn (ppm)	FERRO HCl (ppm)	FERRO Na ₂ -EDTA (ppm)	ZINCO Na ₂ -EDTA (ppm)
0	0	66,0 b	77,0 c	2,1 a
0	5	70,0 a	85,0 b	2,0 a
0	50	72,0 a	117,0 a	2,1 a
3	0	68,0 b	101,0 c	4,1 a
3	5	69,0 b	126,0 b	3,8 b
3	50	74,0 a	143,0 a	4,0 a
9	0	67,0 b	110,0 b	6,3 b
9	5	68,0 a	117,0 a	6,5 b
9	50	69,0 a	118,0 a	7,1 a
27	0	67,0 b	111,0 b	14,2 b
27	5	68,0 b	138,0 a	17,0 a
27	50	76,0 a	141,0 a	18,2 a

OBS.: As médias da mesma letra, não difere significativamente, pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para cada tratamento.

FIGURA 4: Correlação entre os extratores HCl 0,1 N e Na₂-EDTA 0,005 M, na extração do zinco disponível no solo no experimento Zn x Mn. UFPR 1990.



4.2.2 Ferro

A interação níveis de zinco x níveis de manganês sobre os teores de ferro no solo (TABELA 7), significativa para os dois extratores, conforme ANEXOS 7 e 8, mostra que os aumentos dos níveis de zinco e de manganês aplicado ao solo provocaram um aumento na disponibilidade do ferro extraído, principalmente nos tratamentos que receberam 50 ppm de manganês com 3 e 27 ppm de zinco. Se analisadas separadamente, a interferência significativa das doses de zinco sobre ferro extraído por $\text{Na}_2\text{-EDTA}$ 0,005 M, verifica-se que, para essas condições experimentais os resultados obtidos diferem daqueles encontrados por SAJWAN & LINDSAY (1988).

4.2.3 Manganês

Após a colheita, conforme as TABELAS 8 e 9, os teores de manganês no solo apresentaram valores médios de 14 e 55 ppm, extraído com HCl 0,1 N e de 12 e 51 ppm extraído com $\text{Na}_2\text{-EDTA}$ 0,005 M para as doses 0 e 50 ppm de manganês, respectivamente. Na TABELA 1, observa-se que o manganês disponível no solo, no estado natural apresentava um teor de 11 ppm extraído com HCl 0,1 N. Este pequeno aumento na disponibilidade do manganês, parece ser de pouca importância, embora possa ser atribuído a ocorrência do processo de redução durante a condução do experimento.

A aplicação de doses crescentes de manganês (TABELA 8 e

9), conforme os ANEXOS 7 e 8, foi altamente significativa no aumento da disponibilidade do manganês no solo para as duas metodologias utilizadas na extração do elemento.

A recuperação do manganês aplicado ao solo variou de 75 a 78 % e de 80 a 82 %, valores estes calculados a partir das médias apresentadas nas TABELAS 8 e 9, para os extratores ácidos e complexantes, respectivamente. Entre os cátions aplicados nos dois experimentos o manganês foi que apresentou os melhores índices de recuperação.

TABELA 8 Teores de manganês e cobre em ppm no solo, para a interação de níveis de zinco x níveis de manganês, após a colheita.

NÍVEIS x NÍVEIS Zn (ppm)	NÍVEIS Mn (ppm)	COBRE HCl (ppm)	COBRE Na2-EDTA (ppm)	MANGANÊS HCl (ppm)
0	0	3,6 a	2,7 b	13,0 c
0	5	3,3 a	2,8 b	18,0 b
0	50	3,6 a	3,1 a	56,0 a
3	0	3,7 a	3,1 b	14,0 c
3	5	3,3 a	3,2 b	15,0 b
3	50	3,4 a	3,4 a	56,0 a
9	0	4,3 a	3,0 b	14,2 c
9	5	4,7 a	3,2 a	20,0 b
9	50	4,7 a	3,3 a	57,0 a
27	0	4,8 a	3,1 b	15,0 c
27	5	4,8 a	3,4 a	20,0 b
27	50	4,8 a	3,8 a	51,0 a

OBS.: As médias seguidas da mesma letra, não difere significativamente, pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para cada tratamento.

TABELA 9 : Teor de manganês no solo, para o tratamento de manganês, utilizando um extrator no experimento Zn X Mn, após o cultivo, média de quatro repetições, UFPR, Curitiba - PR, 1990.

NÍVEIS DE MANGANÊS.	MANGANÊS Na ₂ -EDTA
0 (ppm)	12,0 C
5 (ppm)	15,0 B
50 (ppm)	51,0 A
MÉDIA	26,0

OBS.: As médias seguidas da mesma letra maiúscula na vertical, não diferem significativamente, pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para cada tratamento.

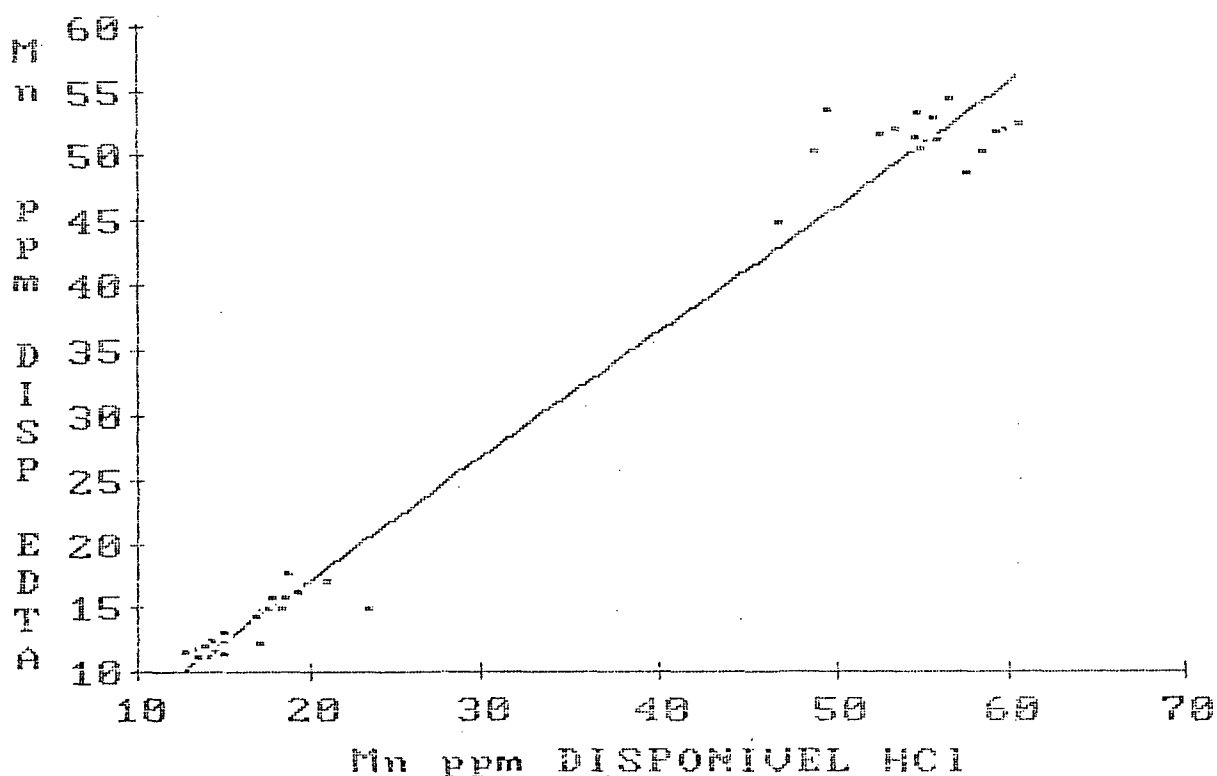
A interação níveis de zinco x níveis de manganês sob a disponibilidade de manganês no solo (TABELA 8), significativa para o extrator ácido, ocorreu possivelmente por ter sido ao nível de 5 % de probabilidade conforme o ANEXO 7, não realça a participação das doses de zinco nesta interação, uma vez que os valores apresentam comportamento não proporcional. Cabe acrescentar que os valores mais elevados de manganês foram observados na dose de 9 ppm de zinco.

O comportamento entre os extratores (HCl 0,1 N e Na₂-EDTA 0,005 M) na extração do manganês no solo (FIGURA 5) mostra uma tendência de um elevado grau de correlação, o que também foi observado por BATAGLIA & VAN RAIJ (1989) ($R > 0,83$ %), embora estes tenham utilizado o extrator complexante com maior concentração (0,1 M).

Devida a alta resposta a aplicação de manganês os

resultados encontrados no gráfico da FIGURA 5, se distribuíram em dois grupos, onde o primeiro (dose 0 e 5 ppm de manganês) apresenta valores bem menores que o segundo (doses de 50 ppm de manganês). Nesta figura observa-se ainda uma tendência ao aumento da dispersão para valores superiores a 45 ppm de manganês, devendo os níveis intermediários serem melhor investigado para uma complementação deste tipo de observação.

FIGURA 5: Correlação entre os extratores HCl 0,1 N e Na₂-EDTA 0,005 M, na extração do manganês disponível no solo no experimento Zn x Mn. UFPR, 1990.



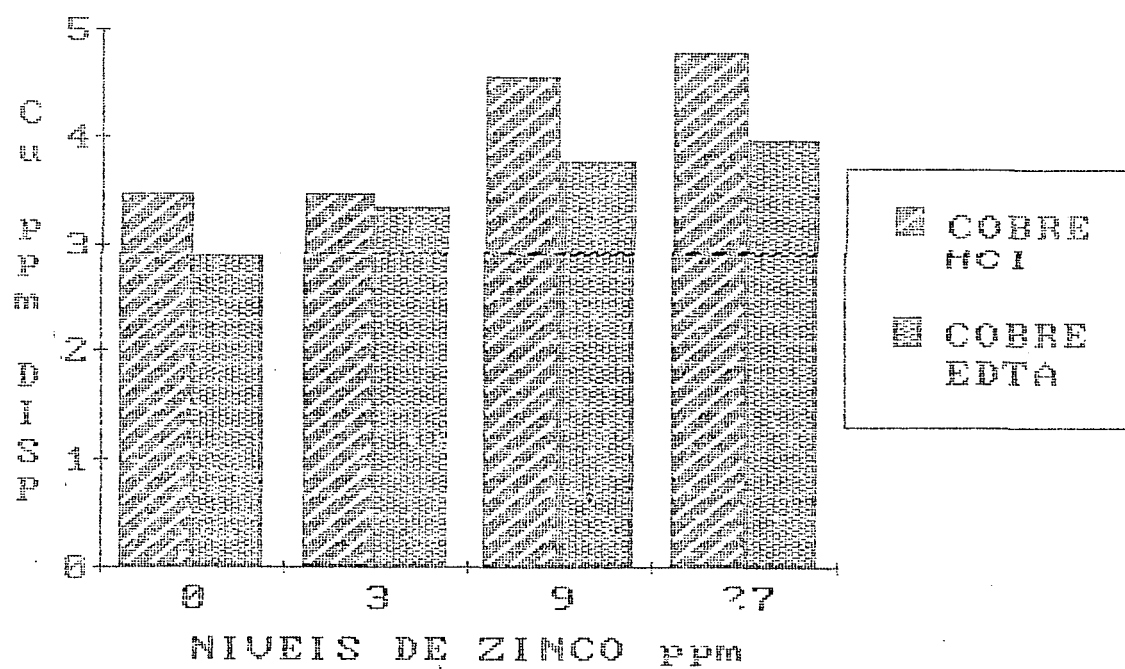
4.2.4 Cobre

De acordo com o discutido no experimento anterior, neste o teor de cobre inicial também sofreu aumento da sua disponibilidade no solo com o cultivo.

A interação níveis de zinco x níveis de manganês sobre a disponibilidade de cobre no solo (TABELA 8), embora significativa ao nível de 5% de probabilidade para os dois extratores conforme os ANEXOS 7 e 8, não apresentam para o HCl 0,1 N diferença entre as médias detectadas pelo Teste Tukey. Já esta diferença foi observada para o extrator complexante, onde constata-se que houve um aumento na disponibilidade do cobre, proporcional ao aumento das doses dos elementos aplicados.

Na FIGURA 6 é possível observar que o extrator ácido extraiu mais cobre do solo que o complexante, confirmando o desempenho obtido no primeiro experimento. O comportamento entre os extratores HCl 0,1 N e Na₂-EDTA 0,005 M, quando da extração do cobre no solo, apresentaram resultados também semelhantes ao experimento Zn x Fe conforme a FIGURA 6.

FIGURA 6: Comportamento entre os extratores HCl 0,1 N e Na₂-EDTA 0,005 M, na extração do cobre disponível no solo do experimento Zn x Mn. UFPR, 1990.



4.3 RESPOSTA DA PLANTA EM RELAÇÃO AOS TRATAMENTOS APLICADOS NO EXPERIMENTO ZINCO X FERRO.

4.3.1 Produção de massa seca, altura, comprimento e diâmetro do colmo da planta.

Encontra-se no ANEXO 9, os resultados das análises de variâncias dos dados obtidos sobre a produção de massa seca, altura, comprimento e diâmetro do colmo no experimento Zn x Fe. Sendo possível observar que houve influência altamente significativa dos níveis de zinco sobre a produção de massa seca, altura e comprimento da planta.

Conforme o teste de tukey que encontra-se na TABELA 10, verifica-se que os níveis crescentes de zinco tiveram efeito positivo sobre a produção de massa seca, altura e comprimento, sendo que os tratamentos que receberam zinco apresentaram resultados maiores do que os que não receberam aplicação deste elemento e uma tendência no decrescimento do diâmetro do colmo da planta. Estes resultados, do aumento de produção de massa seca na cultura do milho, são semelhantes aqueles encontrado por GALRAO & MESQUITA FILHO (1981) e BARBOSA FILHO et alii (1990); LINS & COX (1989), que trabalharam com solos de cerrado, onde os teores disponíveis de zinco são geralmente menores que 1 ppm. A resposta da planta a aplicação de zinco, no presente trabalho, ocorreu com o solo apresentando valores acima do considerado por RITCHEY et alii (1986) como crítico para a cultura do milho, em torno de 1,4 ppm de zinco no solo. Isto indica não ser este nível representativo para as

condições deste experimento. Provavelmente isto é devido, entre outros fatores, ao fato deste solo possuir um pH mais elevado e alto teor de fósforo.

Na TABELA 11 encontra-se o efeito dos níveis crescentes de ferro sobre o diâmetro do colmo, ocorrendo uma tendência no aumento do mesmo, não identificada pelo teste de tuckey e também não respaldada pela literatura.

TABELA 10: Efeito dos níveis de Zinco na massa seca, altura, comprimento e diâmetro do colmo na planta para o experimento Zn X Fe, média de quatro repetições, UFPR, Curitiba - PR, 1990.²

NÍVEIS DE ZINCO	MASSA SECA (g)	ALTURA (cm)	COMPRIMENTO (cm)	DIÂMETRO (mm)
0 (ppm)	69,0 B	101,0 B	157,0 B	10,2 A
3 (ppm)	74,0 AB	117,0 AB	164,0 AB	10,1 A
9 (ppm)	71,0 AB	119,0 A	170,0 A	9,8 A
27 (ppm)	76,0 A	121,0 A	170,0 A	9,6 A
MÉDIAS	72,0	114,0	165,0	9,9

OBS.: As médias seguidas da mesma letra maiúscula na vertical, não diferem significativamente, pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para cada tratamento.

TABELA 11: Efeito dos níveis de ferro sobre o diâmetro do colmo na planta para o experimento Zn X Fe, média de quatro repetições, UFPR, Curitiba - PR, 1990.

NÍVEIS DE FERRO	DIÂMETRO DO COLMO (mm)
0 (ppm)	9,8 A
5 (ppm)	9,8 A
50 (ppm)	10,4 A
MÉDIAS	10,0

OBS.: As médias seguidas da mesma letra maiúscula na vertical, não diferem significativamente, pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para cada tratamento.

4.3.2 Teor de zinco na planta.

Encontra-se no ANEXO 10 os resultados das análises de variâncias dos dados obtidos para o teor de zinco na planta no experimento Zn X Fe. Na TABELA 12 observa-se que as doses crescentes de zinco provocaram aumento dos teores de zinco na planta, variando de 28 ppm a 81 ppm de zinco no tecido vegetal, para as doses 0 ppm e 27 ppm de zinco respectivamente. Estes resultados obtidos são semelhantes aqueles encontrado para a cultura do milho por RITCHEY et alii (1986), trabalhando com LATOSSOLO VERMELHO ESCURO, sob o cerrado e também por GALRAO & MESQUITA FILHO (1981), trabalhando com o LATOSSOLO VERMELHO AMARELO.

TABELA 12 - Efeito dos níveis de zinco sobre zinco, ferro e cobre na planta para o experimento Zn X Fe, média de quatro repetições, UFPR, Curitiba - PR, 1990.

NÍVEIS DE ZINCO	ZINCO (ppm)		FERRO (ppm)	COBRE (ppm)
0 (ppm)	28,0	C	94,0 A	14,5 A
3 (ppm)	34,0	C	89,0 AB	11,7 B
9 (ppm)	45,0	B	82,0 AB	11,2 B
27 (ppm)	81,0	A	79,0 B	10,7 B
MÉDIAS	47,0		86,0	12,0

OBS.: As médias seguidas da mesma letra maiúscula na vertical, não diferem significativamente, pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para cada tratamento.

Conforme FIGURA 7, observa-se alta correlação ($r = 0,96^{**}$) entre os teores de zinco disponíveis num solo, extraído pelo HCl 0,1 N e os teores de zinco absorvidos pela planta, estando de acordo com o resultados encontrados por MURAOKA et alii (1983); RITCHEY et alii (1986) e LINS & COX (1989). Isto indica que o extrator é eficiente na determinação do zinco disponível no solo para estas condições. Devido a alta correlação entre os extratores, a correlação entre zinco disponível no solo, extraído com Na₂-EDTA 0,005 M, e os teores de zinco absorvidos pela planta, também se mostrou elevada ($r = 0,94^{**}$).

Na TABELA 13, pode-se observar que o aumento dos níveis de ferro diminuíram os teores de zinco na planta, mostrando que apesar da baixa recuperação do ferro no solo sua aplicação provocou uma interferência negativa na absorção do zinco. REDDY et alii (1978) constatou que a absorção e o

transporte de zinco em plantas de soja foram inibidas pelo alto teor de ferro no solo. BRAR & SEKHON (1976a) observou que absorção de zinco pela planta aumentou com a sua aplicação e decresceu com o aumento de ferro na solução.

Não foram observados sintomas que caracterizassem a deficiência de zinco durante a condução do experimento, sendo possível relacionar este fato com os teores de zinco superiores a 25 ppm (TABELA 12) e com a relação Fe/Zn inferior a 6 (calculado a partir da TABELA 12), sugeridos como valores críticos por MENGEL & KIRKBY (1987) e NAMBIAR & MONTIRAMANI (1981) respectivamente.

FIGURA 7 - Correlação entre zinco disponível em HCl 0,1 N e teores de zinco absorvidos pela planta, no experimento Zn x Fe, UFPR. 1990

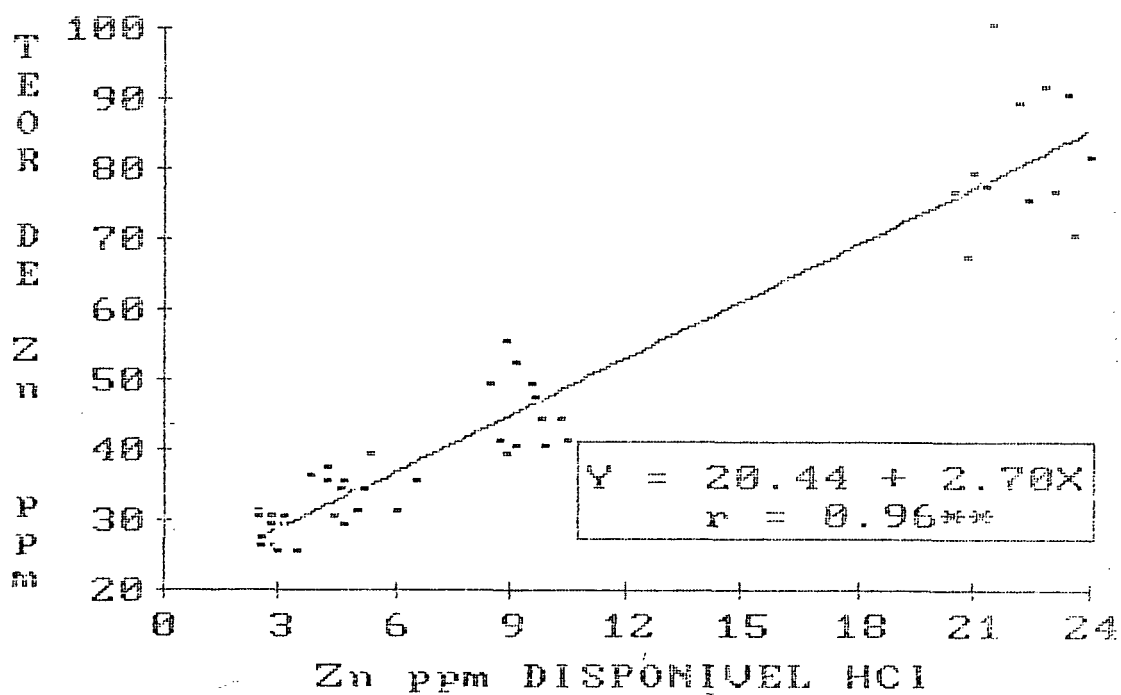


TABELA 13 - Efeito dos níveis de ferro sobre o teor de zinco e cobre na planta para o experimento Zn X Fe, média de quatro repetições, UFPR, Curitiba - PR, 1990.

NÍVEIS DE FERRO	ZINCO (PPM)	COBRE (PPM)
0 (ppm)	50,0 A	13,0 A
5 (ppm)	46,0 AB	12,0 A
50 (ppm)	44,0 B	11,0 A
MÉDIAS	47,00	12,0 A

OBS.: As médias seguidas da mesma letra maiúscula na vertical, não diferem significativamente, pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para cada tratamento.

4.3.3 Teor de ferro na planta.

Encontra-se no ANEXO 10, os resultados da análise de variância dos dados obtidos sobre o teor de ferro na planta no experimento Zn x Fe. Também observa-se que houve influência altamente significativa dos níveis de zinco sobre o teor de ferro na planta.

Na TABELA 12, constata-se que níveis crescente de zinco no solo interferiram negativamente sobre os teores de ferro na planta. Vários autores observaram a interferência do zinco sobre o ferro em diversas culturas cultivadas em hidroponia, vaso e no campo. Os resultados encontrados neste experimento estão de acordo com ROSEN et alii (1977); POLSON & ADAMS (1970) e AMELER et alii (1970), os quais postulam que o zinco interfere negativamente no transporte do ferro na planta; RITCHEY et alii (1986) e LINS & COX (1989) que comentam sobre a

interferência negativa do zinco na absorção e transporte do ferro; e WARNOCK (1970) e OLSEN (1983) os quais sugerem que o zinco interagem no funcionamento fisiológico do ferro.

Os sintomas observados durante a condução do experimento embora sem reflexos negativos sobre os componentes da produção de matéria seca aos 60 dias (TABELA 10), por apresentarem características como: folhas mais novas exibindo nervuras verdes sob um fundo amarelo-esbranquiçado entre as nervuras; e se manifestaram nos tratamentos com aplicação de 27 ppm de zinco, levaram a suposição de que se tratava de uma indução de deficiência de ferro. Após a realização da análise vegetal, confirmou-se esta hipótese devido ao desequilíbrio encontrado na relação Fe/Zn, apesar dos teores de ferro serem considerados normais (50 a 250 ppm) por JONES (1983). Os valores calculados a partir da TABELA 12 para a relação Fe/Zn são inferiores a 1,5 para os tratamentos com 27 ppm de zinco, valor considerado por WATANABE et alii (1965) limite crítico para o aparecimento de sintomas de deficiência de ferro.

4.3.4 Teor de manganês na planta

Encontra-se no ANEXO 10, os resultados da análise da variância dos dados obtidos sob o teor de manganês na planta, para o experimento Zn x Fe. Verifica-se que não houve influência significativa (5%) em nenhum dos tratamentos sob os teores de manganês na planta.

Os teores médios de manganês na planta variaram de 131 a 140 ppm, estando dentro dos padrões considerados normais por MENGEL & KIRKBY (1987) 20 a 200 ppm. Não resultando em aparecimento de sintomas que caracteriza-se como deficiência de manganês.

4.3.5 Teor de cobre na planta

Encontra-se no ANEXO 10 o resultado da análise de variância dos dados obtidos para o teor de cobre na planta no experimento Zn x Fe, observando que houve influência altamente significativa dos níveis de zinco sobre o teor de cobre na planta neste experimento.

Na TABELA 12, constata-se que níveis crescentes de zinco aplicados no solo diminuíram os teores de cobre na planta, mostrando uma interferência negativa do zinco sobre o cobre. Estes resultados estão de acordo com aqueles encontrado por CHAUDHRY et alii (1973) e GALRAO (1984) que constatarem um efeito antagônico do zinco sobre o cobre, e por POLSON & ADAMS (1970) que postulam que o zinco possivelmente prejudica o transporte do cobre para a parte aérea.

Conforme o ANEXO 10, constata-se ainda que níveis de ferro tiveram influência significativa somente ao nível de (5%) sobre os teores de cobre na planta (não detectado pelo teste de Tukey na TABELA 13), possivelmente pelo baixo índice de

recuperação de ferro aplicado no solo, pois conforme OLSEN (1983), o ferro também interfere na absorção do cobre pela planta.

Não foram observados sintomas na planta que pudessem ser atribuídos a deficiência de cobre, o que seria esperado uma vez que seus teores (TABELA 12) estão dentro dos parâmetros considerados normais, de 5 a 30 ppm, sugerido por BATAGLIA & DECHEN (198).

4.4 RESPOSTA DA PLANTA EM RELAÇÃO AOS TRATAMENTOS APLICADOS NO EXPERIMENTO ZINCO X MANGANÊS.

4.4.1 Produção de massa seca, altura, comprimento e diâmetro do colmo da planta.

Encontra-se no ANEXO 11, os resultados da análise de variâncias dos dados obtidos sobre a produção de massa seca, altura, comprimento e diâmetro do colmo da planta no experimento Zn x Mn. Observa-se que houve influência altamente significativa dos níveis de zinco aplicados sobre a produção de massa seca, altura e comprimento. Os níveis de manganês aplicados ao solo interferiram significativamente (5%) sobre a produção de massa seca e diâmetro do colmo, de forma altamente significativa sobre a altura e comprimento da planta. Conforme o teste comparação de médias (tukey) que se encontra na TABELA 14, constata-se que os tratamentos com 27 ppm apresentam a maior média de massa seca, embora esse valor só seja estatisticamente diferente da média da dose zero. Da mesma forma os níveis crescente tiveram aumento positivo no comprimento e na altura das plantas, obtendo-se também na aplicação de 3 ppm de zinco, as maiores respostas em relação as demais quantidades de zinco aplicadas. O efeito da aplicação de 5 e 50 ppm de manganês (TABELA 15) sobre a produção de massa seca, altura e comprimento resultou em valores estatisticamente iguais entre si e superiores ao tratamento com omissão do manganês. Esta resposta positiva a aplicação de manganês, ocorreu com o solo apresentando teor acima do considerado, por COX & KAMPRAT (1983), crítico para a cultura, em

torno de 5 ppm de Mn no solo, extraídos com extratores ácidos. Sendo desta forma, 5 ppm, um valor não representativo para as condições deste experimento. Estes resultados obtidos difere da aqueles encontrados por FUEHRING & SOFFI (1964), os quais observaram que a produtividade da palhada foi afetada pela interação Zn x Mn onde o aumento do manganês tendeu a decrescer a produtividade até os mais altos níveis de zinco aplicados. O trabalho destes autores foi realizado com dados do final do ciclo da cultura, quando obtiveram os resultados da produção de grãos, a qual sofreu influência positiva da interação Zn x Mn. Já no presente trabalho, a fase de desenvolvimento da planta, por ocasião da coleta dos dados, antecedeu a fase reprodutiva.

Na TABELA 15 constata-se ainda que os níveis crescentes de manganês provocaram uma tendência em reduzir o diâmetro do colmo da planta, não sendo este fato justificado pela literatura.

TABELA 14 Efeito dos níveis de Zinco sobre altura e comprimento na planta para o experimento Zn X Mn, média de quatro repetições, UFPR, Curitiba - PR, 1990.

NÍVEIS DE ZINCO	ALTURA (cm)	COMPRIMENTO (cm)	MASSA SECA (g)
0 (ppm)	103,0 B	149,0 C	67,0 B
3 (ppm)	116,0 A	161,0 AB	71,0 AB
9 (ppm)	113,0 A	157,0 BC	74,0 AB
27 (ppm)	121,0 A	171,0 A	79,0 A
MÉDIAS	113,0	159,0	73,0

OBS.: As médias seguidas da mesma letra maiúscula na vertical, não diferem significativamente, pelo Teste de Tuckey ao nível de 5% de probabilidade para cada tratamento.

TABELA 15: Efeito dos níveis de manganês sobre altura, comprimento e diâmetro do colmo na planta para o experimento Zn X Mn, média de quatro repetições, UFPR, Curitiba - PR, 1990.

NÍVEIS DE MANGANEZ	ALTURA (cm)	COMPRIMENTO (cm)	DIÂMETRO (mm)	MASSA SECA (g)
0 (ppm)	104,0 B	152,0 B	10,2 A	68,0 B
5 (ppm)	116,0 A	164,0 A	9,9 A	75,0 A
50 (ppm)	119,0 A	163,0 A	9,4 A	74,0 A
MÉDIAS	113,0	160,0	9,8	72,0

OBS.: As médias seguidas da mesma letra maiúscula na vertical, não diferem significativamente, pelo Teste de Tuckey ao nível de 5% de probabilidade para cada tratamento.

4.4.2 Teor de zinco na planta.

Encontra-se no ANEXO 12 os resultados da análise de variância dos dados obtidos sobre o teor de zinco na planta no experimento Zn x Mn. Na TABELA 16 observa-se que os níveis crescentes de zinco aumentaram os teores de zinco na planta. Estes resultados são semelhantes àqueles encontrados no experimento Zn x Fe, e estando de acordo com os autores citados no referido experimento.

Na FIGURA 8, verifica-se que a alta correlação ($r = 0,97^{**}$) entre os teores de zinco disponível no solo extraído pelo HCL 0,1 N e os teores de zinco absorvidos pela planta, apresentando uma menor dispersão para os valores menos elevados. Sendo obtida alta correlação também para o $\text{Na}_2\text{-EDTA}$ 0,005 M ($r = 0,95^{**}$), uma vez que os dois extratores apresentam entre si elevada correlação na determinação do zinco disponível no solo (item 4.2.1).

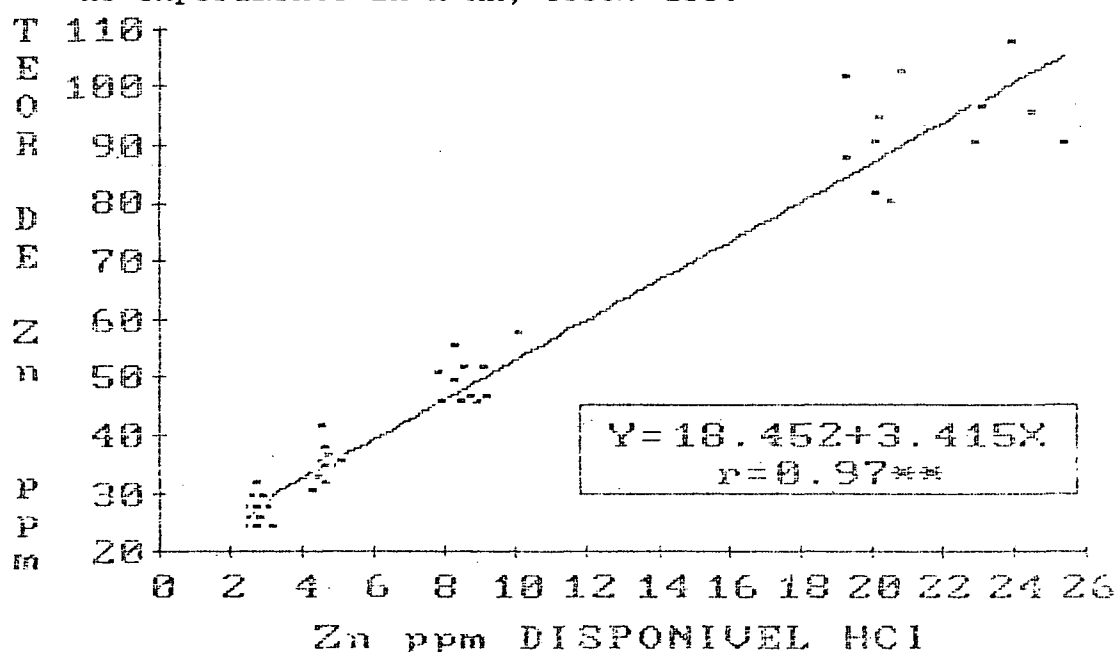
No ANEXO 12 constata-se que não ocorreu influência significativa dos níveis de manganês sobre a absorção do zinco pela planta. Muito tem sido variável de acordo com as culturas e com as condições experimentais, conforme estudos de BRAR & SEKHON (1976b) e FUEHRING & SOFFI (1964).

TABELA 16: Efeito dos níveis de zinco sobre zinco, ferro e cobre na planta para o experimento Zn X Mn, média de quatro repetições, UFPR, Curitiba - PR, 1990.

NÍVEIS DE ZINCO	ZINCO (ppm)	FERRO (ppm)	COBRE (ppm)
0 (ppm)	26,0 D	69,0 A	14,0 A
3 (ppm)	35,0 C	61,0 AB	12,1 AB
9 (ppm)	49,0 B	60,0 AB	10,7 BC
27 (ppm)	93,0 A	49,0 B	8,0 C
MÉDIAS	51,0	60,0	11,2

OBS.: As médias seguidas da mesma letra maiúscula na vertical, não diferem significativamente, pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para cada tratamento.

FIGURA 8 - Correlação entre zinco disponível com o extrator HCl 0,1 N e os teores de zinco absorvidos pelas plantas, no experimento Zn x Mn, UFPR, 1990



4.4.3 Teor de ferro na planta

Encontra-se no ANEXO 12 os resultados das análises de variância dos dados obtidos sobre o teor de ferro na planta no experimento Zn x Mn. Observa-se que o teor de ferro na planta sofreu influência altamente significativa das doses de zinco, não ocorrendo o mesmo em relação as doses de manganês aplicados ao solo.

Conforme a TABELA 16 observa-se que níveis crescentes de zinco proporcionaram redução nos teores de ferro na planta. Estes resultados mostram de forma marcante a ocorrência da interferência na planta, resultados já discutido no experimento Zn x Fe.

Os sintomas observados durante a condução do experimento, embora, até a data da amostragem sem reflexo negativo sobre os componentes da produção (TABELA 14), por apresentarem características como: as folhas mais novas exibindo nervuras verde sob um fundo amarelo muito esbranquiçado entre as nervuras; e por terem se manifestando nos tratamentos com aplicação de 27 ppm de zinco, sendo mais acentuados nestes tratamentos quando acrescidos de 50 ppm de manganês, levaram a suposição de que se tratava de uma indução de deficiência de ferro. Após a realização da análise vegetal, apesar dos teores de ferro na planta serem considerados normais, confirmou-se esta hipótese devidos aos baixos índices encontrados nas relações Fe/Zn e Fe/Mn, com médias de 0.5 e 0.17 respectivamente, para os tratamentos com 27 ppm de Zn e 50 ppm de Mn. Segundo OLSEN (1983) a relação Fe/Mn adequada para as culturas é de 1 a 5.

4.4.4 Teor de manganês na planta

Encontra-se no ANEXO 12, os resultados da análise de variância dos dados obtidos sobre o teor de manganês na planta no experimento Zn X Mn.

Na TABELA 17, observa-se que os níveis crescentes de manganês aumentaram os teores de manganês na planta. Estes resultados obtidos são semelhantes da aqueles encontrado para a cultura do milho por FUEHRING & SOOFI (1964), trabalhando em solos calcáreos. Uma vez que a planta manteve estabilizada a produção de massa seca entre os níveis de 5 e 50 ppm de manganês (TABELA 15), são possíveis duas suposições: ou houve consumo de luxo ou haveria uma dose intermediária com produção mais elevada.

TABELA 17: Efeito dos níveis de manganês sobre manganês na planta para o experimento Zn X Mn, média de quatro repetições, UFPR, Curitiba - PR, 1990.

NÍVEIS DE MANGANESES	MANGANES (ppm)
0 (ppm)	142,0 B
5 (ppm)	151,0 B
50 (ppm)	277,0 A
MÉDIAS	190,0

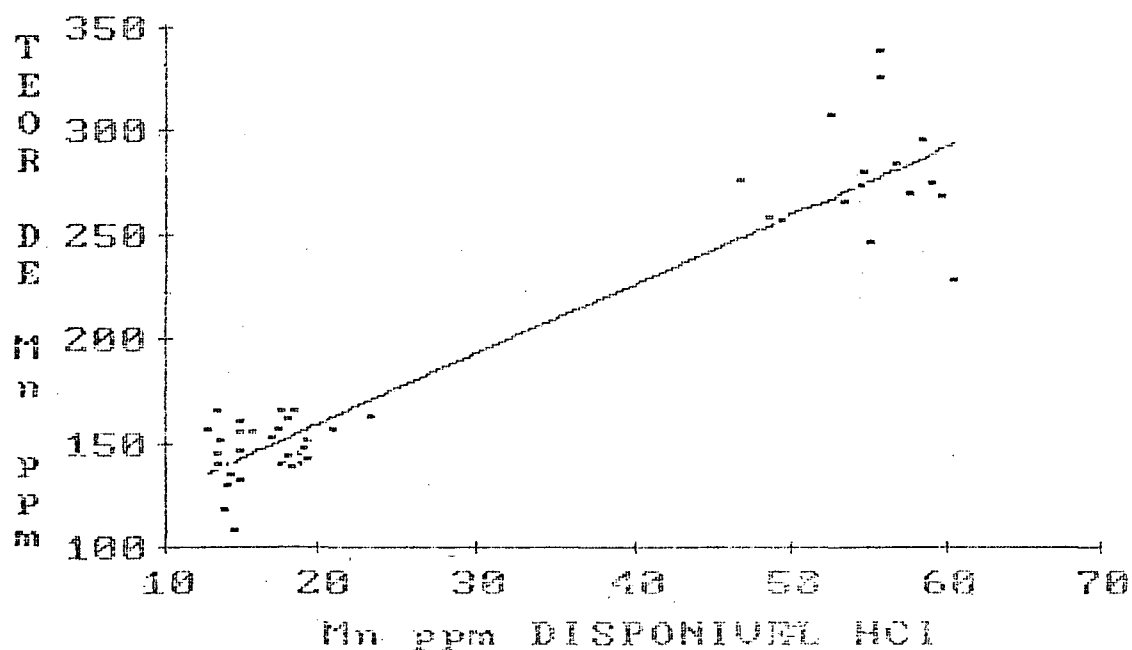
OBS.: As médias seguidas da mesma letra maiúscula na vertical, não diferem significativamente, pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para cada tratamento.

Conforme a FIGURA 9 houve para os 3 níveis de manganês

aplicado uma tendência de correlação entre os teores de manganês disponível no solo, extraído pelo HCL 0,1 N, e os teores de manganês absorvidos pela planta, quando foram considerados os três tratamentos de manganês aplicados. MURAOKA et alii (1983b) e BATAGLIA & VAN RAIJ (1989), possivelmente por terem trabalhado em solo sem aplicação de manganês, não encontraram correlação significativa entre estes parâmetros. O que pode também ser observado neste experimento nos dois menores níveis de manganês.

Não foram observados sintomas que caracterizassem a deficiência de manganês durante a condução do experimento, sendo possível relacionar este fato com os teores de manganês superiores a 20 ppm (TABELA 17), sugerido como valor crítico por JONES (1983).

FIGURA 9 - Correlação entre o manganês disponível com o extrator HCL 0,1 N e os teores de manganês absorvidos pela planta, no experimento Zn x Mn, UFPR. 1990



4.4.5 Teor de cobre na planta.

Encontram-se na ANEXO 12 os resultados da análise de variância dos dados obtidos sobre o teor de cobre na planta no experimento Zn X Mn. Também observa-se que houve influência altamente significativa dos níveis de zinco sobre o teor do cobre na planta neste experimento.

Na TABELA 16, constata-se que níveis crescentes de zinco aplicados no solo diminuíram os teores de cobre na planta, mostrando uma interferência negativa do nível de zinco sobre o cobre. Estes resultados são semelhantes àqueles encontrados no primeiro experimento e pelos autores já citados. No entanto não houve aparecimento de sintoma característico de deficiência de cobre até a dose mais elevada de Zn, uma vez que o menor teor encontrado ficaram mantidos dentro dos níveis considerados normais, comentado no item 4.3.5.

CONCLUSÃO.

Com base nas informações obtidas no presente trabalho, conclui-se que:

1. Os dois extratores utilizados detectaram os níveis crescentes dos três elementos aplicados ao solo.
2. Os índices de recuperação variaram de 63 a 73% para o zinco, 10 a 40% para o ferro e de 75 a 78% para o manganês, extraídos com o HCl 0,1 N .
3. Os dois extratores utilizados apresentaram valores semelhantes para o zinco, manganês e cobre, com pequenas variações a favor do HCL 0,1 N. O extrator complexante extraiu em média 42% a mais ferro que o extrator ácido.
4. A produção de massa seca do milho apresentou diferença estatística, entre a omissão de zinco e a dose de 27 ppm deste elemento; e entre a omissão de manganês e as demais doses deste elemento.
5. Somente para o ferro que a concentração deste elemento na planta não cresceu com o aumento de sua aplicação.
6. As doses crescentes de zinco aplicadas ao solo interferiram negativamente nos teores de ferro e cobre da planta, e as doses de ferro nos teores de zinco do tecido vegetal.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ABREU, C.A. & LOPES, A.S. Identificação de deficiência de micronutrientes em cinco solos de várzeas da região de cerrado de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 20, Belém, PA, 1985. Resumos..... Campinas, SBCS, p.76. 1985.
- ABREU, C.A. LOPES, A.S.; ANDRADE, D.J. Identificação de deficiências de micronutrientes em cinco solos de várzeas da região de cerrado de Minas Gerais. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, 22(8): 833 - 41, 1987.
- ABREU, C.A.; NOVAIS, R.F. & VAN RAIJ. Influência da reação do solo na extração de manganês por diferentes métodos químicos. Programa e resumos do vigésimo terceiro congresso brasileiro de ciência do solo, Porto Alegre, Sociedade brasileira de ciência do solo, 321 p. 1991.
- ALVAREZ-TINAUT, M.C.; LEAL, A. and MARTINEZ, L.R. Iron-Manganês interaction and its relation to Boron levels in tomato plants. Plant and Soil Hague, n. 55, p.377-388, 1980.
- AMBLER, J.E.; BROWN, J.C. & GAUCH, H.E. Effect of zinc on translocation of iron in soybean plants. Plant Physiology Lancaster, V.46 p.320-323, 1970.
- ARNON, I. Mineral nutrition of maize. International Potash Institute, 452 p. 1974.
- BARBOSA FILHO, M.P. Nutrição e adubação do arroz (sequeiro e irrigado). Piracicaba : POTAFOS, 1987. 120 P. (Boletim Técnico, n. 9).
- BARBOSA FILHO, M.B.; DYNIA, J.F. & ZIMMERMANN, F.J.P. Resposta do arroz de sequeiro ao zinco e ao cobre com efeito residual para o milho. R. bras. ci. solo, Campinas, v.14 p.333-338, 1990.
- BATAGLIA, D. C. Micronutrientes: disponibilidade e interações. In: Simpósio enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira, 1988. Londrina. Anais.... Londrina: EMBRAPA - CNPSo /IAPAR / SBCS, 448p. P 121-132, 1988.
- BATAGLIA, O.C. & DECHEN, A.R. Critérios alternativos para diagnose foliar. In Simpósio Avançado de Química e Fertilidade do Solo, Piracicaba, 1986. Anais Campinas, Fundação Cargil, p.115-136 1986.
- BATAGLIA, O.C. & VAN RAIJ, B. Eficiência de extratores de micronutrientes na análise de solo. R. bras. ci. solo Campinas, v.13 p. 205-212, 1989.
- BRAR, M.S. & SEKHON, G.S. Interaction of zinc with other

micronutrient cations. Plant and Soil Hague, vol.45, 145-150, 1976a.

BRAR, M.S. & SEKHON, G.S. Effect of Manganese on Zinc-65 absorption by rice seedlings and its translocation within the plants. Plant and Soil Hague, vol 44, p.459-462, 1976b.

BRITO, D.P.P. DE S.; CASTRO, A.F. DE.; MENDES, W.; JACCOUD, A.; RAMOOS, D.P. & COSTA, F.A. Estudo das reações a micronutrientes em Latossolo Vermelho Escuro sob vegetação de cerrado. Pesq. agropec. bras. Sér. Agron., Rio de Janeiro n.6, p.17-22 1971.

CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M. & DECHEN, A.R. Efeitos do pH e da incubação na extração do Manganês, Zinco, Cobre e Ferro do solo. R. Bras. Ci. Solo. Campinas, n.6 p. 83-88, 1982.

CHAUDHRY, F.M.; SHARIF, M.; LATIF, A. & QURESHI, R.H. Zinc-copper antagonism in the nutrition of rice (*Oriza sativa* L.). Plant and Soil Hague, v.38, 573-580 1973.

COQUEIRO, E.P. & ANDRADE, J.M.V. de. Efeito da adubação com zinco, cobre, manganês, boro e magnésio sobre a produção de grãos de trigo em solo de aluvial em Sete Lagoas. Sete Lagoas, Instituto de Pesquisa e Experimentação Agropecuárias do Centro-Oeste, 3p. (boletim, 24) 1974.

COX, F.R. & KAMPRATH, E.J. Prueba de micronutrientes en suelos. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. & LINDSAY, W.L. Micronutrientes en Agricultura. México, 742 p. p.315-348 1983.

DECHEN, A.R. Micronutrientes: Funções na planta. In: Simpósio sobre micronutrientes na agricultura, 1988, Jaboticabal. Versão preliminar..... Jaboticabal: FCAV/ UNESP-IAC- ANDA-POTAFOS, V.1, 448p. P.113-132, 1988.

DENNIS, E.J. Micronutrientes: Uma nova dimensão na agricultura. In: Fundação Cargil (ed.) Micronutrientes. Campinas. P.1-61, 1982.

EMBRAPA Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. 1979.

FLORES, R.A.; BORNEMISZA, E.; ALVARADO, A. Influência de las propiedades de suelos del pacífico sur sobre su contenido de cationes menores. II. cobre e zinc extraíbles. Turrialba, v. 29 n. 2, p. 105-110, abril/ junho., 1979.

FREITAS, L.M.M. de; McCLUNG, A.C. & LOTT, W.L. Experimentos de adubação em dois solos de campo cerrado. São Paulo, IBEC Research institute, 1958, 29p. (IBEC Research institute. Boletim, 20).

FUEHRING, H.D. and SOOFI, G.S. Nutrition of corn on a calcareous soil: II - Effect of zinc on the yields of grain and stover in relation to other micronutrients. Science Society Proceedings.

1964. V.28, P.79-82.
- GALLO, J.R.; HIROCE, R.; BATAGLIA, O.C. & MORAIS, F.R.P. Levantamento de cafezais do Estado de São Paulo pela análise química foliar. II- Solos Podzolizados de Lins e Marília, Latossolo Roxo e Podzólico Vermelho Amarelo-Orto. Bragantia, São Paulo 29:237-248, 1970.
- GALRAO, E.Z. Efeito de micronutrientes e do cobalto na produção da soja em solo de cerrado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, V.13, n.1 p. 41-44, 1989.
- GALRAO, E.Z. Efeito dos micronutrientes e do cobalto na produção e composição química do arroz, milho e soja em solo de cerrado. Revista Brasileira de Ciências do Solo. Campinas 8(1): 111 -116. 1984
- GALRAO, E.Z. Resposta do trigo à aplicação de cobre em um solo orgânico de várzea. R. bras. ci. solo, v.12 p. 275- 279, 1988.
- GALRAO, E.Z. Aplicação de micronutrientes e calcário no rendimento da soja solo de várzea. Revista Brasileira de ciência do Solo, Campinas, v.14 n.2 p.281-284, 1990.
- GALRAO, E.Z. & MESQUITA FILHO, M.V. de. Efeito de fontes de Zinco na produção de matéria seca do milho em solo sob o cerrado. R. Bras. Ci. Solo, Campinas v.5, p. 167-170 1981.
- GOMES, F.P. Curso de estatística experimental. 4.ed. Piracicaba: Nobel, 430p. 1970.
- HILDEBRAND, C. Manual de análise química de solos e plantas. Curitiba: UFPR, 225p. 1977/76.
- HODGSON, J.F. Chemistry of the micronutrient elements in soil. Advances in Agronomy. New York 1963. V.15, P119-159.
- IAPAR- INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ, LONDRINA-PR. O milho no Paraná. Londrina, 177p. ilustr. (circular IAPAR n. 29), 1982.
- JONES JR., J.B. Análisis de los tejidos de las plantas para micronutrientes. In: Mortvedt, J.J.; Giordano, P.M.; Lindsay, W.L. Micronutrientes en Agricultura. México: AGT, P.349-372, 1983.
- KRAUSKOPF, K.E. Geoquímica de los micronutrientes. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. & LINDSAY, W.L. Micronutrientes en Agricultura. México: AGT, 742 P. P 07-42, 1983.
- KABATA-PENDIAS, A. & PENDIAS, H. Trace elements in soil and plants. United States. p.315, p.232-256, 1985.
- LENTAMANN, A.F. & MEURER, E.J. Estudo da eficiência de extratores para avaliação do zinco disponível do solo para o milho. R. Bras. Ci. Solo Campinas 6:131-135, 1982.

- LINDSAY, W.L. Chemical equilibria in soils. New York: J. Wiley, 449p, 1979.
- LINS, I.D.G. & COX, F.R. Efeito do pH do solo e teor de argila sobre a disponibilidade de zinco para o milho. Campo Grande, EMPAER (boletim de pesquisa n. 6) P.40, 1989.
- LOPES, A.S. Micronutrientes nos solos e culturas brasileiras. In: Seminário: P, Ca, Mg, S e micronutrientes. Situação atual e perspectivas na agricultura, São Paulo. Anais..... São Paulo. Manah, 144p. P.110-142, 1986.
- LOPES, A.S. Uso eficiente de fertilizantes com micronutrientes. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1984, Brasília. Anais.... Brasília: EMBRAPA, 642p., p. 347-382 1984.
- LOPES, A.S. Solos sob "cerrado". Característica, propriedades e manejo. Piracicaba, Instituto da Potassa e Fósforo, 162p 1983.
- LOPES, A.S. & CARVALHO, J.G. Micronutrientes: Critérios de diagnose para o solo e planta, correção de deficiência e excesso. In: Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira ed: por Clóvis Manuel Borkert e Aúreo Francisco Lantmann. Anais do Simposio..... Londrina, EMBRAPA-CNPSO / IAPAR/SECS, 1988. 317p. P.133-178 1988.
- MACHADO, P.L.O.A. & PAVAN, M.A. Adsorção de zinco por alguns solos do Paraná. R. Bras. Ci. Solo, Campinas, v.11, n.3, p.253-256, 1987.
- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Ceres, 254p 1980.
- MALAVOLTA, E. Exigências nutricionais das plantas e necessidades de fertilizantes e de corretivos. In: Simpósio sobre fertilizantes na agricultura brasileira, 1984, Brasília. Anais..... Brasília: EMBRAPA/POTAFOS, 642p. P.159-178 1984.
- MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola. Adubos e Adubação. 3 ed. São Paulo: Ceres, 596p 1981.
- MALAVOLTA, E. & KLIEMANN, H.J. Desordens nutricionais no cerrado. Piracicaba. Potafos. 136p p.41-49. 1985.
- MELLO, F.A.F.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C.do; ARZOLA, S.; SILVEIRA, R.I.; COBRA NETTO, A.; KIEHL, J.C. Fertilidade do solo. São Paulo. Nobel, 400p 1983.
- MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. Principles of plant nutrition. Bern: Intern. Potash Institute, Switzerland. 687p. 1987.
- MURAOKA, T.; NEPTUNE, A.M.L. & NASCIMENTO FILHO, V.F. Avaliação da disponibilidade de zinco e de manganês do solo para o feijoeiro. I. Zinco. R. bras. ci. do Solo. Campinas, v. 07, n.

- 2, p.167-176, 1983a.
- MURAOKA, T.; NEPTUNE, A.M.L. & NASCIMENTO FILHO, V.F. Avaliação da disponibilidade de zinco e de manganês do solo para o feijoeiro. II. Manganês. R. bras. ci. do Solo. Campinas, v. 07, n. 2, p.177-182. 1983b.
- NAMBIAR, K.K.M. and MOTIRAMANI, D.P. Tissue Fe/Zn ratio as a diagnostic for prediction of Zn deficiency in crop plants. Plant and Soil, Hague vol.60, p.357-367, 1981.
- NOVAIS R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F. & SEDIYANA, T. Deficiência de manganês em plantas de soja cultivadas em solos de cerrado. R. bras. ci. do solo, Campinas v. 13 n. 2, p. 199-204, 1989.
- OLSEN, S.R. Interacciones de los micronutrientes. In: Mortvedt, J.J.; Giordano, P.M.; Lindsay, W.L. Micronutrientes en Agricultura. México: AGT, P. 267-286, 1983.
- OTTOW, J.C.G.; BENCKISER, G.; WATANABE, I. & SANTTAGO, S. Multiple nutritional soil stress as the prerequisite for iron toxicity of wetland rice (*Oryza Sativa*), tropical Agriculture. Trinidad. 60(2) : p. 102-106, 1983.
- OLSEN, S.R. Micronutrient interactions. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. & LINDSAY, W.L., eds. Micronutrients in Agriculture. Madison, Soil Science Society of America, 1972. p.243-264.
- POLSON, D.E.; ADAMS, M.W. Differential response of navy beans (*Phaseolus vulgaris* L.) to zinc. I. Differential growth and elemental composition at excessive Zn levels. Agron. J. Madison v. 62, p. 557-560, set./out., 1970.
- PRICE, C.A. Funciones de los micronutrientes en las plantas. In: Mortvedt, J.J.; Giordano, P.M.; Lindsay, W.L. Micronutrientes en Agricultura. México: AGT, P.153-65, 1983.
- REDDY, K.R.; SAXENA, M.C. & PAL, U.R. Effect of iron and manganese on ⁶⁵Zn absorption and translocation in soybean seedlings. Plant and Soil Hauge v.49, 409-415, 1978.
- RITCHEY, K.D.; COX, F.R.; GARLAO, E.Z. & YOST, R.S. Disponibilidade de Zinco para as culturas do milho, sorgo e soja num Latossolo Vermelho Escuro argiloso. Pesq. agropec. bras., 21 (3): 215-225, 1986.
- ROSEN, J.A.; PIKE, C.S. and GOLDEN, M.L. Zinc, iron and chlorophyll. Metabolism in zinc-toxic corn, Plant Physiol. Lancaster 1977. V.59 , P.1085-1087. February.
- SAJWAN, K.S. & LINDSAY, W.L. Effect of redox, zinc fertilization and incubation time on DTPA - extractable zinc, iron and manganese. Soil Science and Plant Analyses Madison. 19(1) : 1-

11. 1988

SEAB - SECRETARIA DA AGRICULTURA DO ESTADO DO PARANÁ. Acompanhamento da situação Agropecuária do Paraná, Curitiba, V.17 n.9 Setembro- Outubro p.1-123, 1991.

SHUMAN, L.M. Zinc, Manganese and Copper in soil fractions. Soil Science, Baltimore v.127, n.1, p.10-17, 1979.

SILVA, A.R.; ANDRADE, J.M.V. & PERES, J.R.R. Efeito residual de micronutrientes no teor foliar e na produção de soja no cerrado. Pesq. Agropec. bras, Brasília, 21 (6) p.597-613, 1986.

SINGH, M.; SINGH, S.P. Effects of zinc and phosphorus on absorption of iron and nitrogen by submerged paddy, Soil Science; Baltimore, V.135 n.2, P.71-78, February 1983.

SINGH, B.R. & STEENBERG, K. Plant response to micronutrients III. Interaction between manganese and zinc in maize and barley plants. Plant and Soil, Hague vol 40, p.655-667, 1974.

STEEL, R.G.D. & TORRIE, J.H. Principles and procedures of statistics. New York: McGraw Hill, 481 p. 1960.

STEVENSON, F.J. & ARDAKANI, M.S. Organic matter reactions involving micronutrients in soils. In: Mortvedt, J.J.; Giordano, P.M.; Lindsay, W.L., ed. Micronutrients in Agriculture. Madison: Soil Science Society America, p.79-114, 1972.

TISDALE, S.L. & NELSON, W.L. Soil fertility and fertilizers. New York. Mac Millan Publishing Co., Inc. 694p. 1975.

TUCKER, T.C. & KURTZ, L.T. A comparison of several chemical methods with the bioassay procedure for extracting zinc from soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. Madison V.19 N.4 p 477-481, 1955.

VALADARES, J.M.A. & CAMARGO, O.A. Manganês em solos do estado de São Paulo. R.Bras.Ci.Solo. Campinas 7: 123-130, 1983.

VERMA, T.S. and MINHAS R.S. Effect of iron and manganese interaction on paddy yield and iron and manganese nutrition in silicon-treated and untreated soils. Soil Science Baltimore v.147 n.02. February 1989.

VERMA, T.S. & TRIPATHI, B.R. Zinc and iron interaction in submerged paddy. Plant Soil Hague 72/1 p 107-116. 1983

VOSKRESENSKAYA, O.L. AKSENOVA, V.A. & CHERNAVINA, I.A. Effect of zinc excess on iron accumulation and activity of mitochondrial enzymes in oats. Soviet plant physiology Moscou. 33 (6): 805-9, 1986

WALLACE, A.; MUELLER, R.T. & ALEXANDRE, G.V. Influence of phosphorus on zinc, iron, manganese and copper uptake by plants.

Soil Science, Baltimore v. 126, n. 6, p. 336-341, 1978.

WARNOCK, R.E. Micronutrient uptake and mobility within corn plants (*Zea mays* L.) in relation to phosphorus-induced zinc deficiency. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Madison, Vol. 34, p 765-769, 1970.

WATANABE, F.S.; LINDSAY, W.L. and OLSEN, S.R. Nutrient balance involving phosphorus, iron and zinc. Soil Science Society Proceedings; Vol. 29. P 562-565, 1965.

ANEXOS

ANEXO1 - Dados originais de Zn, Fe, Mn e Cu disponível no solo para as metodologias utilizadas, em ppm no experimento Zn x Fe.

			HCl 0,1 N				Na ₂ -EDTA 0,005 M			
Zn x Fe	R		Zn	Fe	Mn	Cu	Zn	Fe	Mn	Cu
0	0	1	3.0	58.0	12.0	3.5	1.9	92.0	11.4	3.0
		2	2.7	60.0	12.0	3.4	2.1	89.0	11.2	3.4
		3	2.8	60.0	14.0	3.5	2.4	92.0	10.8	2.8
		4	3.2	59.0	14.2	3.5	1.8	87.0	11.6	2.9
0	5	1	2.6	60.0	14.0	3.4	2.3	81.0	12.6	3.1
		2	2.8	65.0	14.0	3.5	2.3	92.0	12.1	2.9
		3	3.5	64.0	15.0	3.6	2.0	92.0	12.3	3.2
		4	3.0	64.0	14.0	3.3	2.7	87.0	11.7	2.9
0	50	1	2.8	66.0	14.0	3.7	2.0	99.0	12.1	3.1
		2	2.5	70.0	14.0	3.4	2.1	89.0	12.2	3.1
		3	2.5	69.0	14.0	3.3	2.0	96.0	11.8	2.9
		4	2.6	68.0	15.0	3.7	1.9	81.0	12.1	2.8
3	0	1	5.2	73.0	15.0	3.2	3.7	86.0	15.1	3.3
		2	6.5	69.0	13.0	3.2	4.4	86.0	14.3	2.9
		3	4.7	72.0	14.0	3.1	2.9	85.0	13.5	2.6
		4	4.4	74.0	14.0	3.3	3.2	86.0	14.8	2.9
3	5	1	4.7	76.0	15.0	3.4	3.3	88.0	12.0	2.7
		2	4.3	72.0	14.0	3.5	3.2	85.0	11.5	3.0
		3	4.8	67.0	13.0	3.4	3.3	90.0	11.9	3.1
		4	4.8	70.0	15.0	3.5	3.3	91.0	12.3	3.2
3	50	1	5.4	78.0	14.0	3.7	3.4	97.0	12.1	3.7
		2	6.0	73.0	15.0	4.1	3.9	88.0	12.4	3.4
		3	5.0	70.0	14.0	3.8	4.6	107.0	12.2	3.2
		4	4.6	68.0	14.0	3.6	3.9	102.0	12.2	3.1
9	0	1	7.9	66.0	14.0	4.2	6.0	103.0	11.8	3.0
		2	7.5	68.0	13.0	4.1	5.0	93.0	11.8	3.0
		3	8.6	66.0	15.0	4.5	6.6	106.0	12.0	3.2
		4	9.3	68.0	14.0	4.9	6.9	100.0	11.8	3.0
9	5	1	8.7	66.0	15.0	4.6	6.8	80.0	11.4	3.1
		2	7.7	74.0	14.0	4.6	5.6	114.0	11.6	2.7
		3	8.9	72.0	13.0	4.6	6.0	105.0	10.6	2.9
		4	7.9	66.0	15.0	4.6	6.2	100.0	11.2	3.1
9	50	1	9.2	76.0	14.0	4.5	7.0	117.0	11.8	3.3
		2	9.2	75.0	15.0	4.5	6.9	121.0	12.2	3.3
		3	9.3	76.0	14.0	4.3	7.7	94.0	12.1	3.2
		4	9.5	68.0	14.0	4.8	9.2	92.0	12.0	3.4
27	0	1	21.5	66.0	14.0	4.9	18.2	99.0	13.0	3.5
		2	22.9	62.0	13.0	5.0	17.6	88.0	12.0	3.3
		3	21.1	62.0	14.0	5.0	17.4	89.0	12.3	3.2
		4	20.5	70.0	14.0	5.1	17.0	86.0	11.7	3.3
27	5	1	21.4	67.0	15.0	5.0	17.7	88.0	11.6	3.1
		2	22.0	67.0	13.0	5.0	16.8	84.0	11.7	3.3
		3	22.0	76.0	15.0	5.1	18.1	90.0	12.3	3.4
		4	22.5	72.0	15.0	5.1	18.6	92.0	12.5	3.0
27	50	1	23.5	83.0	15.0	4.8	18.2	99.0	11.6	3.1
		2	21.5	68.0	14.0	4.8	18.7	98.0	12.6	3.5
		3	21.8	62.0	14.0	4.8	18.1	137.0	11.0	3.1
		4	22.0	64.0	14.0	5.0	16.6	138.0	11.6	3.0

ANEXO 2 - Dados originais de Zn, Fe, Mn e Cu disponível no solo para as metodologias utilizadas, em ppm no experimento Zn x Mn.

			HCl 0,1 N				Na ₂ -EDTA 0,005 M			
Zn x Mn	R		Zn	Fe	Mn	Cu	Zn	Fe	Mn	Cu
0	0	1	2.6	67.0	13.0	3.7	2.3	79.0	12.0	2.8
		2	2.5	65.0	14.0	3.5	2.2	74.0	12.0	2.6
		3	3.0	66.0	13.0	3.5	2.0	76.0	11.0	2.6
		4	2.7	67.0	14.0	3.5	2.0	77.0	12.0	2.7
0	5	1	2.6	71.0	17.0	3.3	2.0	85.0	14.0	2.8
		2	2.5	69.0	18.0	3.5	1.9	84.0	15.0	2.9
		3	2.7	68.0	19.0	3.4	2.1	85.0	16.0	2.8
		4	2.7	70.0	18.0	3.2	2.2	84.0	15.0	2.7
0	50	1	2.7	71.0	59.0	3.7	1.9	116.0	52.0	3.0
		2	2.8	72.0	55.0	3.4	2.1	118.0	53.0	3.1
		3	3.2	71.0	54.0	3.4	2.1	115.0	51.0	2.9
		4	2.9	72.0	56.0	3.7	2.2	119.0	52.0	3.0
3	0	1	4.6	68.0	15.0	3.4	3.9	100.0	12.0	3.1
		2	5.1	67.0	15.0	3.7	4.1	101.0	13.0	3.2
		3	5.1	69.0	16.0	3.9	3.9	100.0	12.0	3.0
		4	4.8	68.0	15.0	3.7	4.5	101.0	13.0	3.1
3	5	1	4.7	69.0	19.0	3.3	3.7	125.0	17.0	3.3
		2	4.4	70.0	18.0	3.5	4.3	127.0	15.0	3.1
		3	4.5	68.0	18.0	3.3	3.5	126.0	15.0	3.2
		4	4.3	67.0	17.0	3.1	3.8	127.0	14.0	3.3
3	50	1	5.1	72.0	60.0	3.7	4.0	141.0	52.9	3.4
		2	4.6	74.0	53.0	3.1	4.0	142.0	51.0	3.5
		3	4.6	73.0	53.0	3.7	4.0	143.0	52.0	3.3
		4	4.6	74.0	57.0	3.4	3.9	144.0	54.0	3.4
9	0	1	8.3	67.0	13.0	4.2	6.1	110.0	12.0	2.9
		2	8.3	66.0	14.0	4.6	6.4	110.0	11.0	3.1
		3	7.9	67.0	13.0	4.2	6.5	109.0	11.0	2.8
		4	7.8	68.0	14.0	4.3	6.4	111.0	12.0	3.1
9	5	1	10.1	68.0	21.0	4.8	6.4	117.0	17.0	3.3
		2	7.9	69.0	20.0	4.4	6.6	116.0	16.0	3.2
		3	8.6	67.0	19.0	4.6	6.4	115.0	16.0	3.1
		4	8.5	68.0	19.0	5.0	6.5	116.0	16.0	3.3
9	50	1	9.2	69.0	58.0	4.8	7.3	119.0	50.0	3.3
		2	9.1	70.0	58.0	4.6	7.0	118.0	48.0	3.4
		3	8.9	70.0	55.0	4.8	7.1	117.0	50.0	3.2
		4	8.7	68.0	57.0	4.5	7.7	118.0	51.0	3.3
27	0	1	20.1	67.0	14.0	4.7	14.6	111.0	11.0	3.2
		2	22.9	66.0	15.0	4.8	15.2	112.0	11.0	3.0
		3	30.1	68.0	14.0	5.0	14.3	113.0	11.0	3.2
		4	19.3	67.0	13.0	4.5	12.6	110.0	11.0	3.1
27	5	1	20.3	67.0	18.0	4.8	17.0	137.0	15.0	3.5
		2	20.8	66.0	18.0	4.5	17.9	140.0	15.0	3.3
		3	25.4	68.0	23.0	5.2	16.7	140.0	15.0	3.5
		4	20.2	68.0	18.0	4.6	16.4	136.0	15.0	3.4
27	50	1	23.1	77.0	59.0	5.1	18.9	141.0	51.0	3.7
		2	20.5	76.0	47.0	4.7	16.9	140.0	45.0	3.8
		3	24.9	76.0	49.0	4.7	18.3	142.0	59.0	3.9
		4	24.5	75.0	49.0	4.8	19.8	140.0	53.0	3.7

ANEXO 3 - Dados originais de massa seca(MS), altura(ALT), comprimento(COMP), diâmetro do colmo(DIA), Zn, Fe Mn e Cu do experimento Zn x Fe.

Zn	x	Fe	R	MS g	ALT cm	COMP cm	DIA mm	Zn ppm	Fe ppm	Mn ppm	Cu ppm
0	0	1	66.0	100.0	171.0	8.9	29.0	95.0	132.0	15.0	
		2	68.0	99.0	160.0	9.5	30.0	96.0	129.0	15.0	
		3	70.0	98.0	154.0	10.3	29.0	102.0	127.0	16.0	
		4	71.0	99.0	144.0	10.5	30.0	91.0	144.0	16.0	
0	5	1	70.0	96.0	140.0	11.3	30.0	86.0	145.0	15.0	
		2	69.0	99.0	158.0	12.1	31.0	95.0	131.0	14.0	
		3	68.0	107.0	156.0	10.7	30.0	91.0	119.0	14.0	
		4	69.0	106.0	148.0	10.8	26.0	94.0	129.0	15.0	
0	50	1	70.0	103.0	146.0	11.1	27.0	102.0	127.0	13.0	
		2	68.0	100.0	175.0	9.4	26.0	91.0	127.0	13.0	
		3	69.0	101.0	168.0	9.0	25.0	101.0	139.0	14.0	
		4	69.0	100.0	162.0	9.3	25.0	82.0	122.0	13.0	
3	0	1	73.0	108.0	152.0	9.7	34.0	87.0	137.0	12.0	
		2	75.0	117.0	168.0	10.5	35.0	89.0	121.0	13.0	
		3	74.0	109.0	159.0	9.9	35.0	96.0	112.0	12.0	
		4	73.0	116.0	166.0	9.7	30.0	92.0	145.0	12.0	
3	5	1	72.0	117.0	171.0	8.9	39.0	97.0	139.0	11.0	
		2	73.0	116.0	165.0	11.1	31.0	80.0	139.0	11.0	
		3	74.0	114.0	151.0	11.4	31.0	105.0	145.0	12.0	
		4	74.0	125.0	156.0	9.4	34.0	105.0	136.0	11.0	
3	50	1	75.0	110.0	152.0	10.7	29.0	81.0	135.0	11.0	
		2	75.0	118.0	175.0	10.3	35.0	79.0	125.0	11.0	
		3	76.0	128.0	176.0	10.2	36.0	81.0	131.0	11.0	
		4	74.0	129.0	176.0	9.4	37.0	77.0	122.0	12.0	
9	0	1	70.0	107.0	161.0	9.2	55.0	75.0	141.0	12.0	
		2	70.0	118.0	174.0	11.0	49.0	86.0	134.0	12.0	
		3	69.0	116.0	165.0	10.0	49.0	85.0	135.0	12.0	
0		4	70.0	114.0	165.0	10.5	44.0	75.0	142.0	11.0	
9	5	1	71.0	113.0	162.0	11.0	47.0	93.0	156.0	11.0	
		2	72.0	115.0	170.0	9.3	45.0	82.0	147.0	11.0	
		3	71.0	129.0	179.0	9.4	44.0	76.0	145.0	11.0	
		4	72.0	125.0	176.0	9.4	41.0	76.0	119.0	11.0	
9	50	1	72.0	125.0	180.0	9.1	43.0	85.0	131.0	11.0	
		2	72.0	125.0	174.0	9.5	41.0	72.0	142.0	11.0	
		3	73.0	115.0	170.0	8.9	40.0	91.0	125.0	11.0	
		4	73.0	125.0	167.0	9.6	43.0	89.0	141.0	11.0	
27	0	1	74.0	117.0	183.0	8.4	87.0	75.0	129.0	11.0	
		2	75.0	120.0	168.0	9.3	90.0	81.0	140.0	11.0	
		3	74.0	119.0	163.0	10.0	89.0	82.0	121.0	11.0	
		4	74.0	126.0	181.0	9.3	91.0	81.0	131.0	11.0	
27	5	1	78.0	113.0	163.0	10.2	80.0	82.0	159.0	11.0	
		2	77.0	126.0	172.0	10.4	76.0	81.0	155.0	11.0	
		3	76.0	134.0	163.0	11.3	77.0	82.0	130.0	11.0	
		4	77.0	124.0	168.0	9.8	79.0	79.0	145.0	11.0	
27	50	1	73.0	125.0	180.0	10.6	75.0	74.0	139.0	10.0	
		2	74.0	109.0	161.0	10.1	76.0	74.0	124.0	10.0	
		3	73.0	113.0	164.0	10.2	76.0	79.0	154.0	10.0	
		4	74.0	125.0	162.0	10.0	75.0	76.0	156.0	10.0	

ANEXO 4 - Dados originais de massa seca(MS), altura(ALT), comprimento(COMP), diâmetro do colmo(DIA), Zn, Fe Mn e Cu do experimento Zn x Mn.

Zn x Mn R	MS g	ALT cm	COMP cm	DIA mm	Zn ppm	Fe ppm	Mn ppm	Cu ppm
0 0 1	62.0	98.0	152.0	10.2	24.0	56.0	150.0	14.0
0 0 2	61.0	87.0	131.0	10.0	27.0	76.0	134.0	12.0
0 0 3	67.0	89.0	135.0	11.1	25.0	63.0	144.0	15.0
0 0 4	74.0	94.0	140.0	11.1	31.0	71.0	151.0	12.0
0 5 1	64.0	112.0	158.0	10.0	29.0	70.0	155.0	17.0
0 5 2	72.0	116.0	163.0	9.2	27.0	68.0	159.0	17.0
0 5 3	68.0	96.0	145.0	9.2	26.0	62.0	139.0	15.0
0 5 4	61.0	89.0	143.0	9.0	27.0	70.0	161.0	15.0
0 50 1	74.0	115.0	147.0	9.1	24.0	72.0	267.0	14.0
0 50 2	70.0	114.0	163.0	9.1	24.0	76.0	279.0	15.0
0 50 3	70.0	119.0	159.0	8.8	25.0	75.0	272.0	14.0
0 50 4	58.0	104.0	148.0	9.1	29.0	67.0	324.0	14.0
3 0 1	57.0	98.0	149.0	9.8	35.0	57.0	145.0	12.0
3 0 2	66.0	110.0	161.0	9.0	35.0	50.0	131.0	13.0
3 0 3	50.0	102.0	152.0	10.0	35.0	71.0	154.0	11.0
3 0 4	47.0	123.0	167.0	9.1	34.0	60.0	154.0	14.0
3 5 1	73.0	117.0	156.0	10.5	36.0	71.0	144.0	14.0
3 5 2	73.0	123.0	171.0	10.6	32.0	62.0	164.0	14.0
3 5 3	75.0	124.0	157.0	11.0	41.0	69.0	139.0	14.0
3 5 4	81.0	117.0	168.0	10.5	30.0	45.0	152.0	11.0
3 50 1	76.0	117.0	161.0	9.4	35.0	52.0	227.0	12.0
3 50 2	77.0	116.0	163.0	10.4	34.0	61.0	306.0	11.0
3 50 3	84.0	107.0	160.0	8.3	37.0	61.0	265.0	11.0
3 50 4	76.0	128.0	167.0	8.0	31.0	67.0	282.0	9.0
9 0 1	70.0	101.0	146.0	10.3	49.0	59.0	165.0	11.0
9 0 2	73.0	114.0	162.0	11.3	45.0	65.0	156.0	9.0
9 0 3	77.0	109.0	144.0	9.8	55.0	57.0	139.0	10.0
9 0 4	76.0	85.0	129.0	10.8	50.0	70.0	117.0	7.0
9 5 1	73.0	106.0	151.0	9.2	57.0	54.0	156.0	12.0
9 5 2	78.0	118.0	161.0	10.8	45.0	64.0	147.0	12.0
9 5 3	74.0	120.0	168.0	9.2	51.0	51.0	150.0	11.0
9 5 4	78.0	109.0	163.0	10.9	45.0	53.0	141.0	10.0
9 50 1	83.0	131.0	167.0	10.9	46.0	54.0	294.0	11.0
9 50 2	77.0	115.0	165.0	9.9	51.0	55.0	269.0	12.0
9 50 3	69.0	128.0	176.0	10.5	45.0	73.0	246.0	12.0
9 50 4	60.0	120.0	156.0	8.3	46.0	75.0	336.0	11.0
27 0 1	84.0	117.0	164.0	10.5	90.0	61.0	107.0	8.0
27 0 2	73.0	98.0	146.0	11.1	90.0	34.0	159.0	9.0
27 0 3	75.0	121.0	178.0	10.2	81.0	45.0	129.0	9.0
27 0 4	72.0	114.0	179.0	9.7	87.0	57.0	139.0	8.0
27 5 1	79.0	126.0	186.0	8.9	101.0	60.0	142.0	8.0
27 5 2	68.0	127.0	176.0	10.0	102.0	65.0	165.0	8.0
27 5 3	87.0	126.0	176.0	10.1	90.0	41.0	162.0	8.0
27 5 4	87.0	129.0	179.0	9.7	94.0	40.0	137.0	7.0
27 50 1	73.0	110.0	157.0	9.5	96.0	45.0	274.0	9.0
27 50 2	86.0	132.0	173.0	9.6	80.0	50.0	275.0	7.0
27 50 3	79.0	130.0	175.0	9.9	107.0	42.0	257.0	7.0
27 50 4	74.0	115.0	160.0	9.7	95.0	51.0	255.0	8.0

ANEXO 5 - Análise de Variância dos dados obtidos no solo para o experimento Zn X Fe, utilizando como extrator HCl 0,1 N, após a colheita. UFPR, Curitiba - PR, 1990.

FONTES DE VARIACÃO	G.L.	QUADRADOS MÉDIOS - HCl 0,1 N.			
		Zn	Mn	Fe	Cu
Níveis de Zn.	03	929,46**	0,61	151,35**	1,90**
Níveis de Fe.	02	0,63	3,10	102,93**	0,12
Níveis de Zn X Níveis de Fe.	06	2,67**	0,39	19,77	0,11
Erro.	36	0,67	0,45	16,97	0,05
CV %		8,65	5,58	6,01	6,30

* - F significativo a 5% de probabilidade.

** - F significativo a 1% de probabilidade.

ANEXO 6 - Análise de variância dos dados obtidos no solo para o experimento Zn X Fe, utilizando como extrator Na₂-EDTA 0,005 M, após a colheita. UFPR, Curitiba - PR, 1990.

FONTES DE VARIACÃO	G.L.	QUADRADOS MÉDIOS - Na ₂ -EDTA 0,005 M			
		Zn	Mn	Fe	Cu
Níveis de Zn.	03	586,18**	0,18	410,79*	0,10
Níveis de Fe.	02	0,41	0,37	889,67**	0,10
Níveis de Zn X Níveis de Fe.	06	1,42**	0,78**	164,03	0,08
Erro.	36	0,39	0,17	97,44	0,39
CV %		7,96	7,91	10,28	9,31.

* - F significativo a 5% de probabilidade.

** - F significativo a 1% de probabilidade.

ANEXO 7 - Análise de Variância dos dados obtidos no solo para o experimento Zn X Mn, utilizando como extrator HCl 0,1 N, após a colheita. UFPR, Curitiba - PR, 1990.

FONTES DE VARIAÇÃO.	G.L.	QUADRADOS MÉDIOS - HCl 0,1 N.			
		Zn	Mn	Fe	Cu
Níveis de Zn.	03	879,07**	6,18	10,94	5,77**
Níveis de Mn.	02	2,81	7984,71**	5,18	0,04
Níveis de Zn X Níveis de Mn.	06	1,37	13,86*	64,21**	0,11*
Erro.	36	1,09	5,06	9,90	0,04
CV %		10,50	7,69	4,61	5,71

* - F significativo a 5% de probabilidade.

** - F significativo a 1% de probabilidade.

ANEXO 8 - Análise de Variância dos dados obtidos no solo para o experimento Zn X Mn, utilizando como extrator Na₂-EDTA 0,005 M, após a colheita. UFPR, Curitiba - PR, 1990.

FONTES DE VARIAÇÃO.	G.L.	QUADRADOS MÉDIOS - Na ₂ -EDTA 0,005 M			
		Zn	Mn	Fe	Cu
Níveis de Zn.	03	490,36**	4,32	3675,23**	0,10**
Níveis de Mn.	02	3,60**	7485,66**	159,31	0,03
Níveis de Zn X Níveis de Mn.	06	4,71**	2,84	1266,70**	0,09*
Erro.	36	0,46	1,68	139,96	0,03
CV %		7,17	4,98	11,26	6,36

* - F significativo a 5% de probabilidade.

** - F significativo a 1% de probabilidade.

ANEXO 9 - Análise de variância dos dados obtidos de massa seca, altura, comprimento e diâmetro na planta para o experimento Zn X Fe, UFPR, Curitiba - PR, 1990.

FONTES DE VARIACÃO.	G.L.	QUADRADOS MÉDIOS			
		MASSA SECA	ALTURA	COMPRIM.	DIAMETRO
Níveis de Zn.	03	95,31**	297,49**	476,50**	0,52
Níveis de Fe.	02	13,28	138,45	186,02	1,84*
Níveis de Zn X Níveis de Fe.	06	21,41	62,50	75,60	1,19
Erro.	36	24,76	55,68	81,54	0,51
CV %		6,87	6,39	5,46	7,19

* - F significativo a 5% de probabilidade.

** - F significativo a 1% de probabilidade.

ANEXO 10 - Análise de variância dos dados obtidos de zinco, manganês, ferro e cobre, na planta para o experimento ?Zn X Fe, Curitiba - PR, 1990.

FONTES DE VARIACÃO.	G.L.	QUADRADOS MÉDIOS			
		Zn	Mn	Fe	Cu
Níveis de Zn.	03	6728,27**	244,79	486,50**	62,68**
Níveis de Fe.	02	152,68**	253,77	46,33	29,02*
Níveis de Zn. X Níveis de Fe.	06	46,13	99,46	114,33	13,52
Erro.	36	25,13	107,02	92,40	1,43
CV %		10,66	7,95	11,09	9,93

* - F significativo a 5% de probabilidade.

** - F significativo a 1% de probabilidade.

ANEXO 11 - Análise de variância dos dados obtidos de massa seca, altura, comprimento e diâmetro do colmo na planta para o experimento Zn X Mn, UFPR, Curitiba - PR, 1990.

FONTES DE VARIAÇÃO.	G.L.	QUADRADOS MÉDIOS			
		MASSA SECA	ALTURA	COMPRIM.	DIÂMETRO
Níveis de Zn.	03	327,06**	669,51**	1004,47**	0,63
Níveis de Mn.	02	194,48*	1019,31**	640,02**	2,93*
Níveis de Zn X Níveis de Mn.	06	143,62	78,90	114,57	1,22
Erro.	36	38,87	74,90	84,52	0,46
CV %		8,54	7,63	5,76	6,68

* - F significativo a 5% de probabilidade.

** - F significativo a 1% de probabilidade.

ANEXO 12 - Análise de variância dos dados obtidos de zinco, manganês, ferro e cobre na planta para o experimento Zn X Mn, UFPR, Curitiba - PR, 1990.

FONTES DE VARIAÇÃO.	G.L.	QUADRADOS MÉDIOS			
		Zn	Mn	Fe	Cu
Níveis de Zn.	03	10469,52**	301,24	756,35**	86,90**
Níveis de Mn.	02	26,33	90825,64**	40,39	11,64
Níveis de Zn. X Níveis de Mn.	06	30,25	155,78	115,56	16,45
Erro.	36	23,17	411,24	101,39	1,22
CV %		9,50	10,67	16,84	9,85

* - F significativo a 5% de probabilidade.

** - F significativo a 1% de probabilidade.